

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DEL THROUGHPUT EN MOLIENDA SAG
MEDIANTE ESTRATEGIAS DE MANEJO OPERACIONAL CON
EL CIRCUITO DE PEBBLES”**

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

ELABORADO POR

MARLON ALEXANDER ORDOÑEZ YLACHOQUE

ASESOR

M.Sc. ING. DAVID PEDRO MARTINEZ AGUILAR

LIMA-PERU

2021

DEDICATORIA

A mis padres Edgar y Dominga, por el apoyo y cariño que me brindaron durante mi formación profesional, por quienes soy la persona que soy ahora. Mi amor y gratitud para ellos.

A la compañera de toda mi vida, a la que amo con toda el alma: Marilú. Ella es la persona que me inspiró con sus consejos para realizar el presente trabajo.

A mis hijas Ximena y Laura, quienes son las personas que más quiero en esta vida y son la motivación de todos mis días de trabajo.

A mi hermano Daniel, quien en todo momento me da el apoyo incondicional en cualquier proyecto que emprendo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a los docentes de la sección de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica, de la Universidad Nacional de Ingeniería, quienes a través de la enseñanza que me impartieron contribuyeron a mi formación.

A mis compañeros de trabajo de Operaciones Planta Concentradora Las Bambas por el Apoyo de equipo para lograr estos grandes retos.

RESUMEN

Los circuitos de molienda SAG han ido evolucionando relativamente rápido durante los últimos 60 años y ahora tal vez estemos llegando a la máxima escala de tamaño de los molinos SAGs. Estos equipos de gran tamaño se han caracterizado por poseer alta potencia instalada que nos permite producir altos tonelajes de mineral. La necesidad de producir en mayor cantidad y optimizarlos hace que se busque formas de mejoramiento. Por ello, esta tesis tiene por objetivo la optimización del throughput en molienda SAG cuando se tiene material grueso y competente, mediante estrategias de manejo operacional con el circuito de pebbles. Se hizo un análisis de diversos componentes (litología, mineralogía, difracción de rayos, microscopía) involucrados en el proceso, y un análisis de las etapas del proceso mismo con la introducción de las mejoras. Es muy importante partir siempre de un principio que es generar moliendabilidad y eso lo conseguimos encontrando un nivel de llenado adecuado (%Jc) que operativamente es encontrar el peso de trabajo óptimo del molino SAG que genere una estabilidad para poder usar el sistema experto PXP de molienda, A esto se suma que, debemos también considerar que es una operación atípica donde tenemos solo un molino de Bolas para la recepción de un molino SAG en ambas líneas de molienda. Con esto se pudo concluir que, efectivamente, al derivar el pebbles correctamente chancado se incrementa el throughput del molino, aliviando condiciones operativas como potencia y corriente, y mejorando su rendimiento.

ABSTRACT

SAG grinding circuits have been evolving relatively rapidly over the last 60 years and now we are perhaps reaching the full scale of SAG mill size. These large equipment have been characterized by having high installed power that allows us to produce high tonnages of ore. The need to produce in greater quantity and optimize them makes it look for ways of improvement. Therefore, this thesis aims to optimize the throughput in SAG grinding when you have thick and competent material, through operational management strategies with the Pebbles circuit. An analysis was made of various components (lithology, mineralogy, ray diffraction, microscopy) involved in the process, and an analysis of the stages of the process itself with the introduction of improvements. It is very important to always start from a principle that is to generate Grindability and we achieve this by finding a suitable filling level (% Jc) which operationally is to find the optimal working weight of the SAG Mill that generates stability to be able to use the expert PXP system of grinding, to this it is added that, we must also consider that it is an atypical operation where we have only one Ball Mill for the reception of a SAG Mill in both Grinding Lines. With this, it was possible to conclude that, effectively, by deriving the Correctly crushed Pebbles, the Throughput of the mill is increased, alleviating operating conditions such as power and current, and improving its performance.

PRÓLOGO

En el presente trabajo, tesis titulada “Optimización de Throughput en Molienda SAG mediante estrategias de manejo operacional con el circuito de pebbles”, estudio y analizo las oportunidades de mejora en una planta concentradora cuando se tiene material competente y de granulometría gruesa. La tesis está dividida en 4 capítulos: El primero es una revisión de la operación de planta concentradora planteando la problemática del problema y mencionando antecedentes en otras operaciones mineras; el segundo capítulo, hace referencia a la Operación netamente del Molino SAG, considerando variables y parámetros directos en la producción de mineral a gran escala incluyendo la operación con el sistema experto de molienda. El tercer capítulo muestra los análisis que se realiza en el circuito de pebbles de planta concentradora nos presenta Muestreos que optimizarán y nos harán tomar mejores decisiones al momento de utilizar correctamente el Pebbles al mezclarlo con la carga fresca, adicional se hace un análisis microscópico y de difracción al material entregado a flotación. El cuarto capítulo, nos presenta un análisis y discusión de resultados con cuadros de tendencias reales y demostrando que efectivamente un buen control del pebbles en el circuito de molienda te ayuda a incrementar el rendimiento de los molinos SAGs y Bolas incrementando el tonelaje en los molinos, Concluyo que encontrar en Peso adecuado de trabajo en el molino SAG mejorará todas las condiciones de la operación recordando no olvidar La operación aguas abajo. Finalmente considero seguir la bibliografía donde se muestran libros que afianzan la teoría que un molino que trata material competente y grueso necesita de material fino para maximizar su rendimiento.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
PRÓLOGO	
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCION.....	13
1.1. Generalidades.....	13
1.2. Descripción del problema de investigación.....	16
1.3. Objetivos.....	17
1.4. Hipótesis.....	17
1.5. Antecedentes.....	18
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEORICO.....	21
2.1. Parámetros de Molienda Primaria.....	22
2.2. Operación de Molienda y pebbles desde control room.....	24
2.3. Sistema Experto de Molienda.....	38
2.4. Pebbles.....	41
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION.....	43
3.1. Análisis de litología y mineralogía.....	43
3.2. Análisis de difracción de rayos x.....	44
3.3. Análisis de microscopia.....	49
3.4. Muestreo del circuito de chancado pebbles.....	53
CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	66
4.1. Chancado pebbles.....	66
4.2. Análisis de tendencias.....	68
4.3. Análisis de tendencias con material problema.....	72
4.4. Derivación de Pebbles Línea 001.....	74
4.5. Derivación de Pebbles Línea 002.....	77
4.6. Estabilidad de ambas líneas de Molienda.....	78
4.7. Análisis de tendencia con carga neta a flotacion.....	80

4.8. Cálculo del JC ideal y peso operativo de trabajo óptimo	84
4.8.1. Crash stop del Molino SAG 001	84
4.8.2. Grind out del Molino SAG 001	86
4.8.3. Crash stop del Molino SAG 002	88
4.8.4. Grind out del Molino SAG 002	89
4.8.5. Determinacion del peso ideal de trabajo de los Molinos SAGs.....	91
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS	
ANEXO 1. Matriz de Consistencia	
ANEXO 2. Balance metalúrgico	
ANEXO 3. Impacto de la Potencia y peso en una Sobrecarga de Molienda Secundaria	
ANEXO 4. Tendencia Operativa de DCS para el Molino SAG 01 y Molino de Bolas 01	
ANEXO 5. Tendencia Operativa de DCS para el Molino SAG 02 y Molino de Bolas 02	
ANEXO 6. Tendencia Operativa Optima del DCS para el Molino SAG	
ANEXO 7. Detector de Metales y By Pass para la 3 chancadoras de pebbles	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Litología y mineralogía carga fresca a molienda-----	43
Tabla 3.2: Litología y mineralogía carga fresca hacia a molienda -----	43
Tabla 3.3: Litología y mineralogía carga fresca hacia a molienda -----	43
Tabla 3.4: Litología y mineralogía carga fresca a molienda-----	44
Tabla 3.5: Difracción de Rayos X de la línea 001 (23/01/2021)-----	44
Tabla 3.6: Difracción de Rayos X de la línea 002 (23/01/2021)-----	45
Tabla 3.7: Difracción de Rayos X de la línea 001 (25/01/2021)-----	46
Tabla 3.8: Difracción de Rayos X de la línea 002 (25/01/2021)-----	46
Tabla 3.9: Difracción de Rayos X de la línea 001 (19/04/2021)-----	46
Tabla 3.10: Difracción de Rayos X de la línea 002 (19/04/2021)-----	47
Tabla 3.11: Difracción de Rayos X de la línea 001 (09/06/2021)-----	48
Tabla 3.12: Difracción de Rayos X de la línea 002 (09/06/2021)-----	48
Tabla 3.13: Muestreo alimentación del circuito de pebbles-----	53
Tabla 3.14: Muestreo alimentación de la chancadora CRC001-----	54
Tabla 3.15: Muestreo alimentación de la chancadora CRC002-----	55
Tabla 3.16: Muestreo alimentación de la chancadora CRC003-----	56
Tabla 3.17: Muestreo producto de la chancadora CRC001-----	57
Tabla 3.18: Muestreo producto de la chancadora CRC002-----	59
Tabla 3.19: Muestreo producto de la chancadora CRC003-----	61
Tabla 3.20: Muestreo por la faja CVB0015 y contraste con el Split-----	63
Tabla 3.21: Muestreo general del circuito de pebbles-----	65
Tabla 3.22: Muestreo del circuito de pebbles-----	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Proceso de Molienda	14
Figura 2.1: Nivel de carga Molino SAG.	22
Figura 2.2: Molino SAG (40 x 22 pies)	24
Figura 2.3: Alimentadores de Placas hacia el SAG001	26
Figura 2.4: Alimentadores de Placas hacia el SAG002	26
Figura 2.5: Stock pile de gruesos Molienda	27
Figura 2.6: Molienda Primaria SAG 001	28
Figura 2.7: Molienda Primaria SAG 002	28
Figura 2.8: Molienda Secundaria MLB 001	30
Figura 2.9: Molienda Secundaria MLB 002	31
Figura 2.10: Circuito de pebbles	32
Figura 2.11: Chancadoras MP1000 METSO	33
Figura 2.12: Chancadora MP1000 METSO, CRC 001	34
Figura 2.13: PXP FLSmitdh en Molienda	35
Figura 2.14: PXP FLSmitdh en Molienda	36
Figura 2.15: PXP FLSmitdh en Pebbles	37
Figura 2.16: PXP Flsmidth, Workplace	39
Figura 2.17: PXP Flsmidth actuador Detalles	39
Figura 2.18: Stock pile de pebbles	41
Figura 2.19: Stock pile de pebbles distribucion de carga.	42
Figura 2.20: Pebbles generado por el molino SAG	42
Figura 3.1: Microscopia de la línea 001 (23/01/2021)	49
Figura 3.2: Microscopia de la línea 002 (23/01/2021)	49
Figura 3.3: Microscopia de la línea 001 (25/01/2021)	50
Figura 3.4: Microscopia de la línea 002 (25/01/2021)	50
Figura 3.5: Microscopia de la línea 001 (19/04/2021)	51
Figura 3.6: Microscopia de la línea 002 (19/04/2021)	51
Figura 3.7: Microscopia de la línea 001 (09/06/2021)	52
Figura 3.8: Microscopia de la línea 002 (09/06/2021)	52
Figura 3.9: Distribución granulométrica alimentación al circuito de pebbles	54
Figura 3.10: Distribución granulométrica alimentación de la chancadora CRC001	55

Figura 3.11: Distribución granulométrica alimentación de la chancadora CRC002 -----	56
Figura 3.12: Distribución granulométrica alimentación de la chancadora CRC003 -----	57
Figura 3.13: Chancadora CRC001 de Pebbles MP1000.-----	57
Figura 3.14: Distribución granulométrica producto de la chancadora CRC001 -----	59
Figura 3.15: Setting de Pebbles CRC001-----	59
Figura 3.16: Distribución granulométrica producto de la chancadora CRC002 -----	61
Figura 3.17: Chancadora CRC002 de Pebbles MP1000 -----	61
Figura 3.18: Distribución granulométrica producto de la chancadora CRC003 -----	63
Figura 3.19: Chancadora CRC003 de Pebbles MP1000 -----	63
Figura 3.20: Control de Setting -1/2" por la faja CVB0015-----	64
Figura 3.21: Control de Setting por la faja CVB0015 -----	64
Figura 4.1: Seguimiento al cerrado set de chancadoras de Pebbles, y su efecto en la generación de finos -0.5.....	66
Figura 4.2: Seguimiento del nivel de taza de las 3 chancadoras de Pebbles -----	66
Figura 4.3: Seguimiento de la potencia de las 3 chancadoras de Pebbles -----	67
Figura 4.4: Pebbles compartido cuando el porcentaje de finos es superior al 31% -1"-----	68
Figura 4.5: HMI de Control Room, Alimentadores 4-5-6-7 Molino SAG1-----	69
Figura 4.6: HMI de Control Room, Molino SAG1 y Zaranda de Pebbles -----	69
Figura 4.7: HMI de Control Room, Molino de Bolas 1 y Ciclones-----	70
Figura 4.8: HMI de Control Room, Vista general chancado de Pebbles -----	70
Figura 4.9: Control experto PXP, Circuito de Molienda y Pebbles -----	71
Figura 4.10: Derivación de todo el pebbles hacia la línea 002 de Molienda-----	72
Figura 4.11: Incremento de Tonelaje en la línea 001, sin afectar la potencia del SAG1 -----	72
Figura 4.12: Incremento de tonelaje en la línea 001, aprovechando el porcentaje de finos al SAG y la baja competencia del material -----	73
Figura 4.13: Derivación de todo el pebbles hacia la línea 002 -----	73
Figura 4.14: Setting en chancado de pebbles -----	74
Figura 4.15: Derivación de todo el pebbles hacia la línea 001 de molienda-----	74
Figura 4.16: Derivación de todo el pebbles hacia la línea 001 -----	75
Figura 4.17: Incremento del tonelaje en la línea 001 -----	75
Figura 4.18: Incremento del tonelaje en la línea 002 -----	76
Figura 4.19: Setting en chancado de pebbles -----	76
Figura 4.20: Derivación de todo el Pebbles hacia la línea 002 de Molienda-----	77
Figura 4.21: Tendencia PI, rangos de peso y activación del PXP para el SAG 001 -----	77

Figura 4.22: Tendencia PI, rangos de peso y activación del PXP para el SAG 002 -----	78
Figura 4.23: Tendencia PI, estabilidad de la potencia en el molino de bolas 001 -----	78
Figura 4.24: Tendencia PI, estabilidad de la potencia en el molino de bolas 002 -----	79
Figura 4.25: Pebbles compartido cuando el porcentaje de finos es superior al 31% -1plg --	80
Figura 4.26: Derivación de Todo el pebbles hacia la línea 002 de Molienda -----	80
Figura 4.27: Derivación de Todo el pebbles hacia la línea 001 de Molienda -----	82
Figura 4.28: Evaluación Carga fresca VS Carga Neta en Molienda para Materiales altamente competente-----	83
Figura 4.29: Resumen Operativo con pebbles -----	84
Figura 4.30: Crash stop del Molino SAG 001, detención intempestiva -----	85
Figura 4.31: El nivel de carga (Jc) calculado ascendió a 36.5%-----	85
Figura 4.32: Nivel de carga llega a la altura del Pulp Discharge -----	86
Figura 4.33: Grind out del Molino SAG 001, para calcular el Nivel de Bolas-----	86
Figura 4.34: El nivel de Bolas (Jb) calculado ascendió a 18.5%-----	87
Figura 4.35: El nivel de bolas por encima del middle liner-----	87
Figura 4.36: Crash stop del Molino SAG 002, detención intempestiva -----	88
Figura 4.37: El nivel de carga (Jc) calculado ascendió a 33.9%-----	88
Figura 4.38: El nivel de carga por debajo del Pulp Discharge -----	89
Figura 4.39: Grind out del Molino SAG 001 para calcular el nivel de bolas-----	89
Figura 4.40: El nivel de Bolas (Jb) calculado ascendió a 18.7%-----	90
Figura 4.41: El nivel de bolas muy parecido al Molino SAG 001 -----	90
Figura 4.42: Cálculo del peso de trabajo de Ambos Molinos SAGs -----	91
Figura 4.43: Estabilidad del SAG 01 a un peso adecuado -----	92
Figura 4.44: Estabilidad y mejora el Throughput del Molino SAG 02-----	92

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1. Generalidades

El Proceso de Molienda consta de cuatro etapas, las cuales son: Molienda primaria. Clasificación por zaranda vibratoria. Clasificación por nido de ciclones. Molienda secundaria.

La etapa de molienda primaria está compuesta por dos líneas de molienda operadas en paralelo, cada una provista de un molino SAG (0310-MLS-0001/0002), de 12.2 m x 6.7 m (40 x 22 pies EGL) y 24 MW de potencia instalada.

En la descarga de los molinos SAG se tiene provisto un trommel corto de 4.0 m de largo y 5.65 m de diámetro con abertura de 16 x 48 mm, donde se adiciona agua de proceso (300 m³/h) para mejorar la clasificación de la pulpa. El sobre tamaño del trommel es enviado a la etapa de clasificación por zaranda vibratoria y el bajo tamaño es alimentado a la etapa de clasificación por nido de ciclones.

Para el control operacional, cada molino SAG, cuenta con un sistema de velocidad variable y está diseñado para operar con un volumen de llenado total (%Jc), mineral más medios de molienda(%Jb), de un (25 – 33) %.

El underflow de los nidos de ciclones (0310-CSC-0001/0002) y 0310-CSC-0003/0004) es enviado hacia la alimentación de los molinos de bolas (0310-MLB-0001/0002) respectivamente, junto con las bolas de acero de 3”, colector primario, lechada de cal, y agua de proceso.

Cada molino de bolas cuenta con un sistema de velocidad variable y opera con un volumen de llenado de mineral de un 35 a 45 %. La descarga de los molinos de bolas se realiza a través de un trommel magnético que permite coleccionar los chips (bolas fragmentadas) en la descarga del molino. La pulpa descarga de los molinos de bolas por gravedad al cajón de alimentación de los nidos de ciclones (0310-SUL-0001/0002) respectivamente, formando un circuito cerrado inverso.

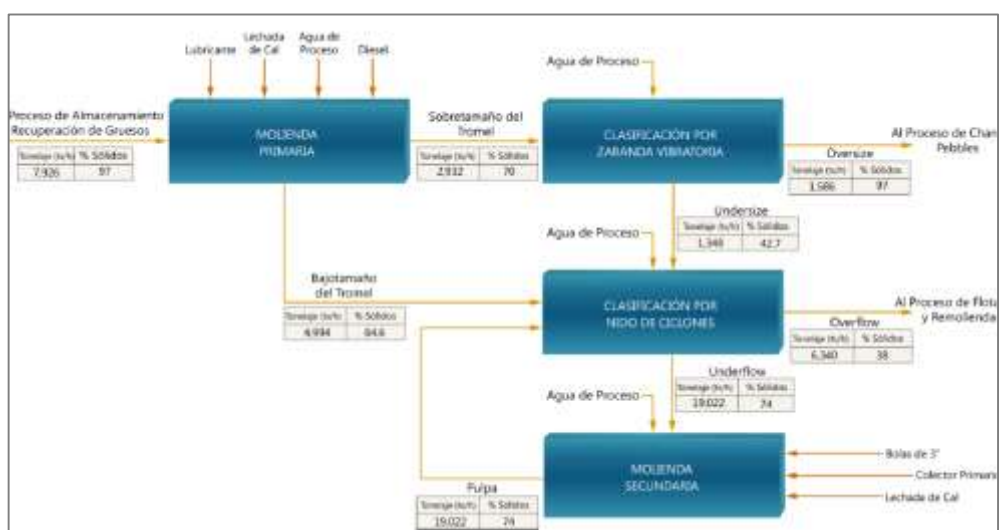


Figura 1.1: Proceso de Molienda

Fuente: Manual de Operaciones Planta concentradora Las Bambas

En el nivel inferior del edificio de molienda, se ha considerado una contención con pendiente de piso de 2 %, que conduce los derrames hacia un sector de mayor pendiente de 10% que deriva hacia un pozo de decantación. En caso de un evento mayor el derrame es drenado desde el cajón de alimentación de nido de ciclones hacia el pozo de decantación desde donde el sobre flujo es conducido hacia la canaleta de aguas contactadas, para luego ser enviada hacia la presa de relaves.

Se tiene un tratamiento de 140,000 t/d de mineral, con 365 días por año, 24 horas por día y 92 % de utilización efectiva.

La función de los molinos SAG es triturar (por línea) 3,963 t/h de mineral (con un 97% de sólidos) entregado por las fajas de alimentación (0240-CVB-0006/0007), desde un tamaño máximo de 150 mm (6 pulgadas) hasta obtener una pulpa con granulometría P_{80} de 2 a 4 mm.

Debido a que no todo el mineral alimentado alcanza el tamaño objetivo, la descarga se clasifica en el trommel, en dos productos:

- Sobre tamaño de +13 mm que se descarga en las zarandas de pebbles (0310-SCR 0001/0003), a razón de 1,466 t/h de pulpa (con un 70% de sólidos).
- Bajo tamaño que se descarga en los cajones sumideros (0310-SUL-0001/0002), a razón de 2,497 t/h de pulpa (con un 64.6% de sólidos).

1.2. Descripción del problema de investigación

El rendimiento del circuito de Molienda depende del porcentaje de finos y críticos que entre al circuito y de la competencia del material proveniente de mina, adicionalmente del tipo de mineral que ingresa al circuito sea un Skarn de granates, pórfidos o mineral marsul (Mármol con sulfuros).

Cuando se trata mineral con buen porcentaje de finos por encima del 31% -1" los molinos SAGs tienen un throughput aceptable en promedio de 3400 a 3500 Tn/hr, sin embargo, cuando el porcentaje de finos está por debajo del 24% -1" se tiene una reducción del throughput en molienda que está entre 2500 a 2700 Tn/hr, es en este caso se manejan estrategias de operación a fin de no impactar tanto en la producción del día. Una estrategia es utilizar el propio pebbles generado en la molienda ya que este material tiene que volver a ingresar al sistema, todo dependerá de las condiciones que se le brinde a este pebbles ya que es un material crítico de alta competencia con un tamaño máximo de 72 mm provenientes de las parrillas de los SAGs.

La correcta calibración de setting en las chancadoras y la distribución de pebbles hacia ambas líneas de molienda, evaluando parámetros de operación y competencia del material fresco de mina, marcan el propósito de la investigación, que es mejorar el Throughput en Molienda.

Nuestra base parte siempre en generar moliendabilidad y eso se consigue encontrando un JC adecuado, desde la parte operativa el peso adecuado del molino SAG nos guiará y evitará una sobrecarga ligada a los impactos críticos y estándar del molino SAG y evitar sobre producir Pebbles.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Optimización del throughput en Molienda SAG mediante estrategias de manejo operacional con el circuito de pebbles.

Objetivo específico

- Optimizar el throughput a Molienda SAG empleando pebbles chancado cuando se tenga material competente y porcentaje de finos bajo en la alimentación fresca.
- Aliviar la potencia en el SAG empleando pebbles chancado con un setting de 13 mm.
- Generar estabilidad en el circuito de molienda evitando variaciones de flujo de pulpa aguas abajo controlando el circuito con el PXP de FLSmidth adaptando rangos operacionales a fin de maximizar el Throughput en Molienda.

1.4. Hipótesis

Hipótesis general

¿Se podrá Optimizar el Throughput en Molienda SAG mediante Estrategias de Manejo Operacional con el circuito de Pebbles?

Hipótesis específicas

- ¿Encontrar el JC y Peso adecuado del Molino SAG Generara mejor Moliendabilidad y produciremos menor cantidad de Pebbles?

- ¿El empleo de Pebbles Chancado ayudara a reducir la potencia critica del Molino SAG?
- ¿La implementación de un mejor control en pebbles mejorara la estabilidad del circuito de Molienda?

1.5. Antecedentes

Eli E. Aguilar T. (2017). Estudia las características de operación de los molinos SAG usados en grandes plantas concentradoras, se encuentra la necesidad de incrementar el tonelaje de producción de concentrado, para ello se requiere realizar tareas de optimización y mejora de procesos en los circuitos de Molienda. Para lograr este objetivo se necesitó de un equipo multidisciplinario por áreas: mantenimiento, geología, geotecnia, ingeniería y operaciones. [3]

La planta concentradora de Minera Las Bambas, tiene una capacidad de producción de 140,000 toneladas por día de mineral, en la cual se observa algunas deficiencias en la tapa de descarga del molino SAG, como es la recirculación de la carga, este fenómeno de reflujo hace que pulpa se acumule en el pie de carga resultando la formación de un charco de pulpa para atenuar o minimizar este reflujo se modifica la geometría de los levantadores de carga. [3]

Rogelio R. Rojas R. (2019). Estudió la capacidad del software JKSimMet y su modelo para la molienda SAG de representar el comportamiento de la Función Selección, Función Fractura y transporte de material de un molino a escala industrial. Para ello desarrolló un muestreo de una planta de

conminución con la finalidad de obtener la cantidad de información suficiente para desarrollar un balance de masas del circuito de molienda, permitir además la obtención de muestras de mineral para llevar a cabo los diferentes ensayos de caracterización de dureza, y, en paralelo, obtener los parámetros operacionales de los equipos principales del circuito de molienda. Una vez obtenida la información, se utilizó el software JKSimMet para calibrar los parámetros de modelo del molino SAG que representaran de mejor manera el comportamiento del mismo. [15]

René E. Roque S. (2013). Estudio la selección del molino para el proceso de Molienda SAG y el diseño de la etapa de comunicación entre el DCS de la Foxboro de la central y el controlador (PLC Siemens) del Molino SAG. Donde el objetivo ha sido lograda al comisionar los lazos de control de los Apron Feeders, Faja de alimentación Molino SAG, Alimentación Agua de Proceso y descarga Molino SAG. [16]

Manuel A. Silva B. (2013). Enfoco el estudio de los circuitos de molienda SAG, para el desarrollo de una herramienta predictiva orientada a la optimización energética y productiva del molino SAG. Utilizó 3 modelos predictivos, uno para la potencia consumida por el molino SAG, otro para su consumo específico de energía y un tercero para el tonelaje de alimentación fresca al circuito de molienda. El desarrollo de dichos modelos y su validación, se basa en información operacional de 4 circuitos correspondientes a 3 turnos de molienda SAG que procesan minerales de cobre. [8]

La metodología empleada consiste, en primera instancia, en la identificación de correlaciones entre las variables claves del circuito de molienda SAG, a través del análisis por turno con mayor cantidad de información disponible (DB.M1). Posteriormente, se evalúa las tendencias más relevantes evidenciadas para esta base de datos, se dan también para los demás circuitos de molienda considerados. [8]

César A. Garrido Q. (2004). Desarrollo la modelación, simulación y control de una planta de molienda SAG, utilizado datos de la planta concentradora Colón de la División el Teniente de CODELCO para la conciliación de los modelos estáticos programados. [2]

La programación de los modelos y la simulación de los mismos, se ha desarrollado en el ambiente SIMULINK de MATLAB. Los modelos estáticos desarrollados para los diferentes equipos pertenecientes a la planta SAG han sido iterados de manera de obtener una simulación dinámica y realizar el desarrollo de la estrategia de control. [2]

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

El proceso de conminución, en particular la molienda SAG, constituye una de las operaciones de mayor relevancia en el procesamiento de minerales, tanto por su influencia en las etapas posteriores de concentración, como por el costo asociado a la cantidad de energía consumida. Debido a esto es necesario optimizar el proceso y adoptar estrategias frente a desviaciones de ciertas variables del proceso, a fin de garantizar que la planta trabaje eficientemente y así poder cumplir con parámetros preestablecidos, entre éstos la capacidad de la planta, su disponibilidad y la mejor utilización de los equipos que la constituyen.

Una de las variables que afecta de sobremanera a la operación de los molinos SAG, es la generación de pebbles en el circuito de molienda, ya que éstos representan una carga circulante de mayor dureza relativa, con un tamaño comprendido generalmente entre 1 y 3 pulgadas, lo que provoca una merma en el flujo de alimentación de carga fresca a la planta, disminuyendo su capacidad neta de producción.

2.1. Parámetros de Molienda Primaria

Tonelaje de tratamiento del Molino SAG.

Se requiere procesar el máximo tonelaje posible, pero esto está condicionado de la capacidad de procesamiento de nuestra molienda secundaria, más aún en nuestro caso que solo se cuenta con un solo molino de bolas.

Peso de trabajo del Molino SAG.

El peso ideal de trabajo está relacionado directamente con el nivel de bolas que se tiene y los impactos críticos que se quiera lograr. Las características del mineral (grosso – fino), también juegan un papel importante para determinar el peso ideal de trabajo.

- Impactos críticos altos implica que el molino necesita cargar un poco más de peso, a la vez se corre el riesgo dañar los liners del molino.
- Impactos críticos bajos (molino mudo), implica molino muy cargado y por consiguiente la eficiencia de molienda baja.

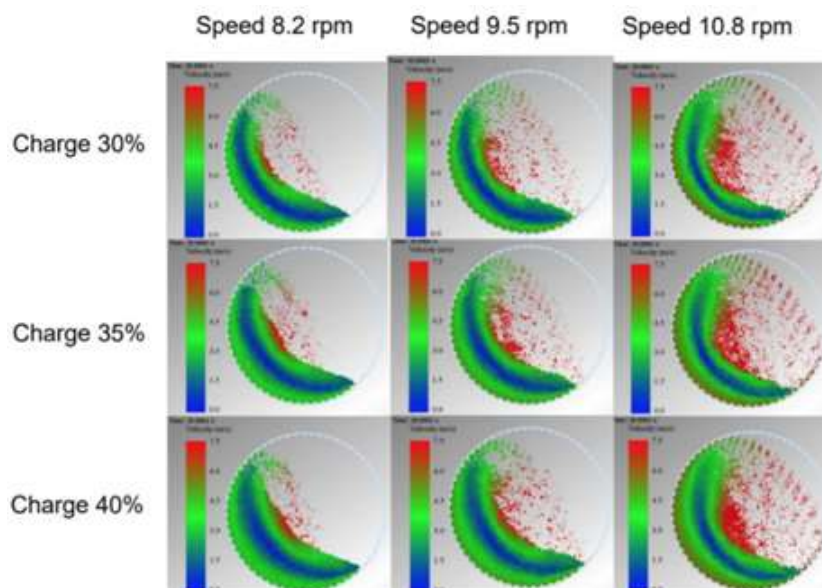


Figura 2.1: Nivel de carga Molino SAG.

Fuente: Mill Scanner Sistema de Detección de Carga para Molinos.FLSmidth (2017)

Porcentaje de sólidos.

El % de sólidos es un parámetro importante, está relacionado directamente con las características del mineral (grueso, fino, arcilloso) que está ingresando al molino, el rango más óptimo sería de 75 a 80% de sólidos. Bajo % de sólidos indica que el tiempo de residencia del mineral dentro del molino es menor por lo que la molienda sería menos eficiente (el mayor flujo de agua en el chute de alimentación del molino ocasiona que el molino se descargue y este no completa su periodo de molienda). En términos operacionales se le denomina que el molino está lavando.

Alto % de sólidos indica que el tiempo de residencia dentro del molino es mayor por lo que la eficiencia de molienda sería mayor. Es importante trabajar con un buen % de sólidos en la molienda primaria, ya que de alguna forma ayudara a la molienda secundaria.

Potencia del molino SAG.

Este es uno de los parámetros más importante en la molienda puesto que nos indica que tan competente está el mineral que estamos procesando y de acuerdo con este dato se podrá ir ajustando los otros parámetros operativos. El consumo específico de energía, está relacionado en la cantidad de energía que necesita para moler una tonelada de mineral.



Figura 2.2: Molino SAG (40 x 22 pies)

Fuente: Fotografía propia Molino SAG 001 Las Bambas (2021)

Impactos críticos en el molino SAG.

Los impactos críticos que se producen en el interior del molino SAG nos indican realmente cuan eficiente puede ser la molienda.

- Altos impactos críticos (>40 imp/min) puede ser perjudicial puesto que hay riesgo de daño a los liners del molino.
- Bajos impactos críticos (<3 imp/min, molino mudo), representa baja eficiencia de molienda.
- Se recomienda mantener los impactos críticos en el rango de <40 imp/min, para tener la máxima eficiencia de molienda, obviamente todo está relacionado a las características del mineral.

2.2. Operación de Molienda y pebbles desde control room

Desde control room se tiene el manejo operacional clave tanto para el circuito de molienda sin pebbles y con pebbles el cual se detalla a continuación.

Manejo operacional en los alimentadores de placas.

En la figura se aprecia cuatro alimentadores de placa estos alimentadores abastecen a una faja principal que luego alimenta a los molinos SAG, estos alimentadores trabajan de acuerdo a la necesidad, normalmente se trabaja con los alimentadores centrales porque distribuyen una buena cantidad de finos, sin embargo, si la necesidad amerita se carga material grueso de los alimentadores extremos que normalmente tienen mayor porcentaje de grueso.

Estos alimentadores de placa poseen unos permisivos de arranque principalmente el motor de la bomba hidráulica sólo así se podrá arrancar el alimentador de placas, en el transcurso de su arranque en automático se enciende el enfriador de aceite este enfriador trabaja para regular la temperatura del tanque de la bomba hidráulica.

También automáticamente trabaja el motor de engrase este sistema trabaja dependiendo de un ciclo al cual le llamamos el ciclo de engrase que son entre 7 a 10 pulsaciones cada 2 horas esta grasa va directamente hacia los rodamientos del alimentador de placas.

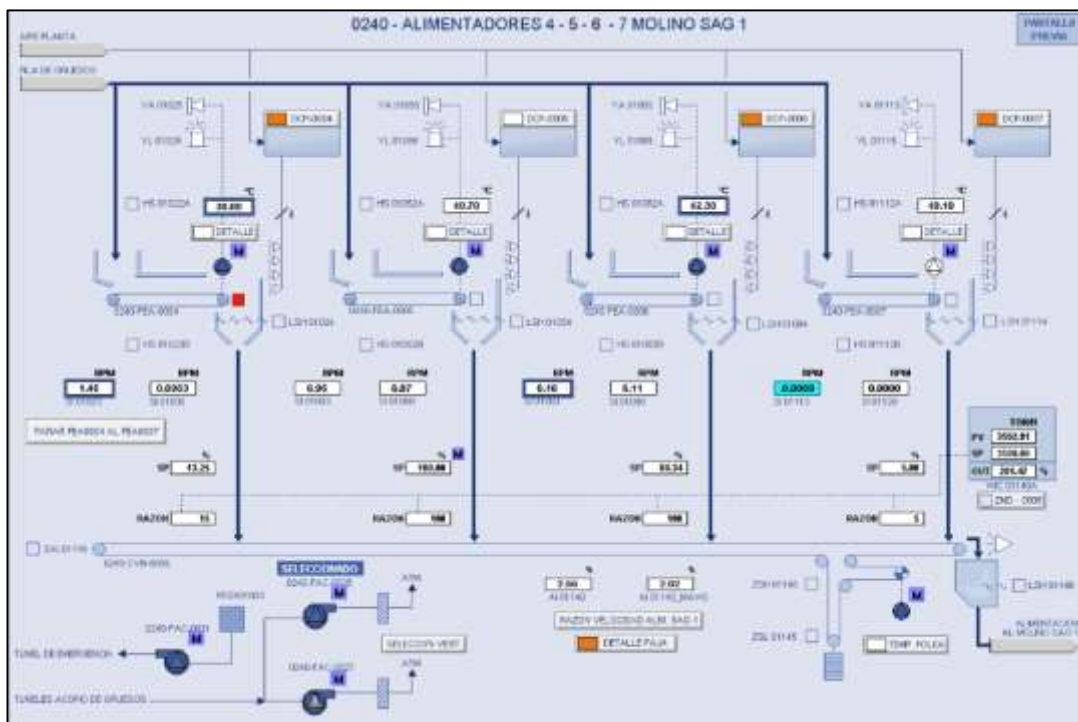


Figura 2.3: Alimentadores de Placas hacia el SAG001

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

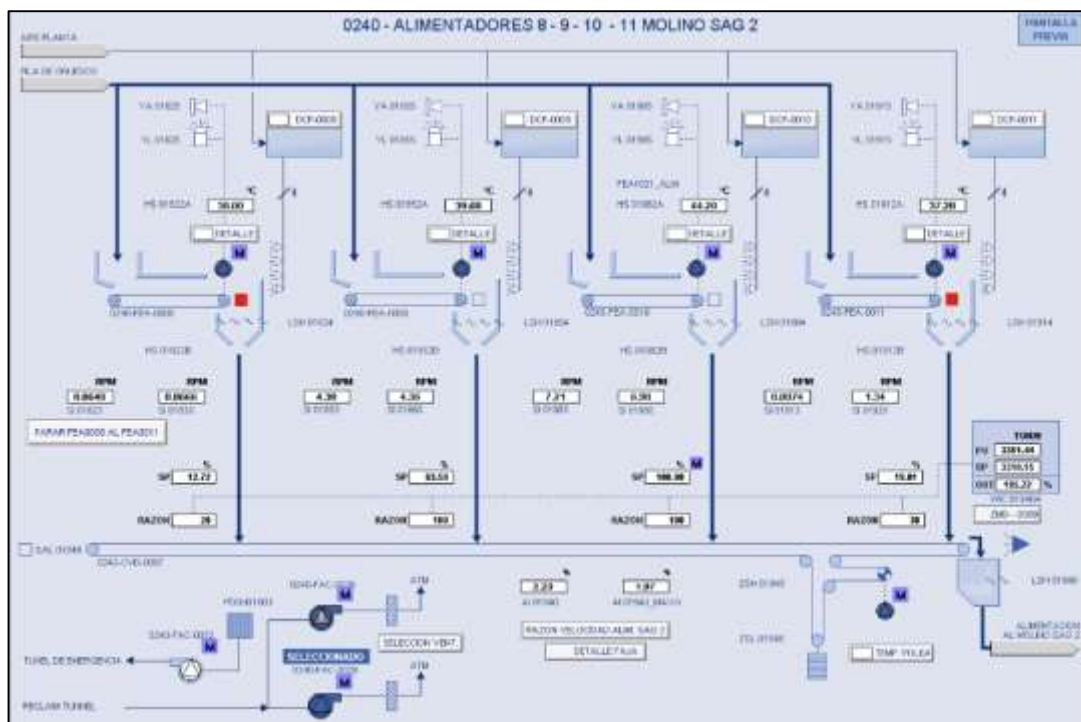


Figura 2.4: Alimentadores de Placas hacia el SAG002

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

Estos alimentadores de placas trabajan en línea con un sistema de reconocimiento de porcentaje de finos llamado Split Por lo cual mediante este sistema podemos tener la granulometría en línea por cada alimentador que se esté alimentando hacia cada molino SAG.

De esta forma hacemos más eficiente la alimentación de mineral fresco hacia cada línea de molienda. Es importante saber que cada línea de alimentación a cada molino SAG es abastecido también por una línea de pebbles.

Manejo operacional en la Molienda Primaria

En la figura apreciamos el circuito de Molienda SAG Este circuito de molienda se basa principalmente en un controlador de tonelaje un controlador de agua, Estos pueden trabajar en automático o manual dependiendo de la necesidad, en automático será en una operación normal y en manual cuándo se arranca el sistema de molienda SAG.



Figura 2.5: Stock pile de Gruesos Molienda

Fuente: Elaboración propia (2021)

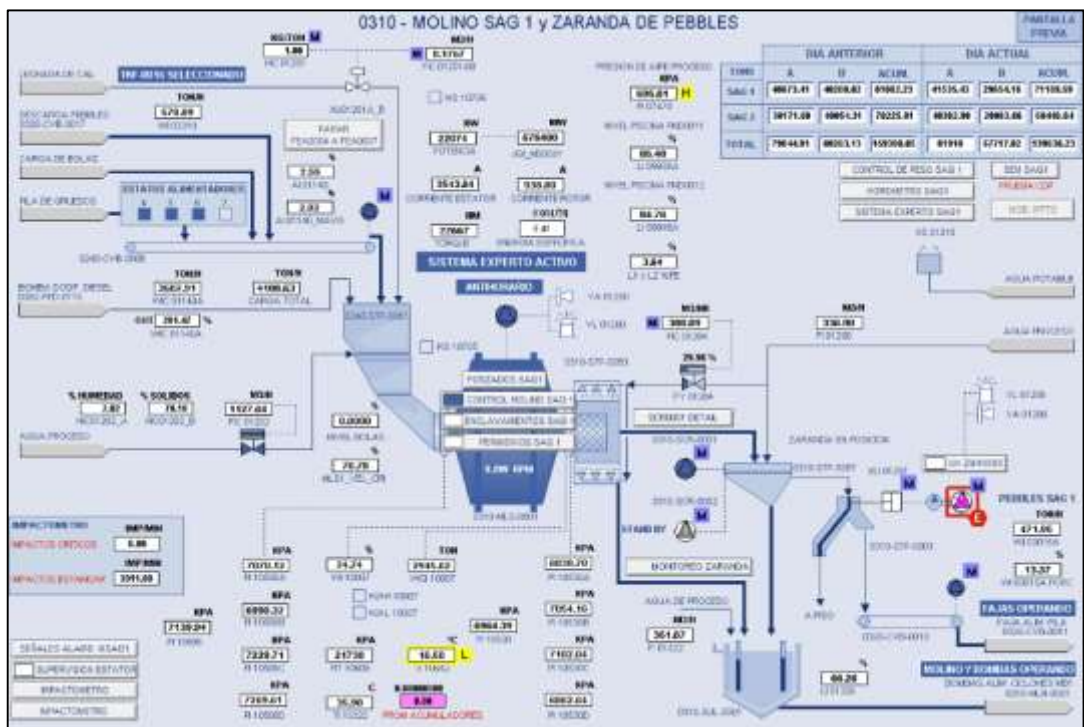


Figura 2.6: Molienda Primaria SAG 001

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

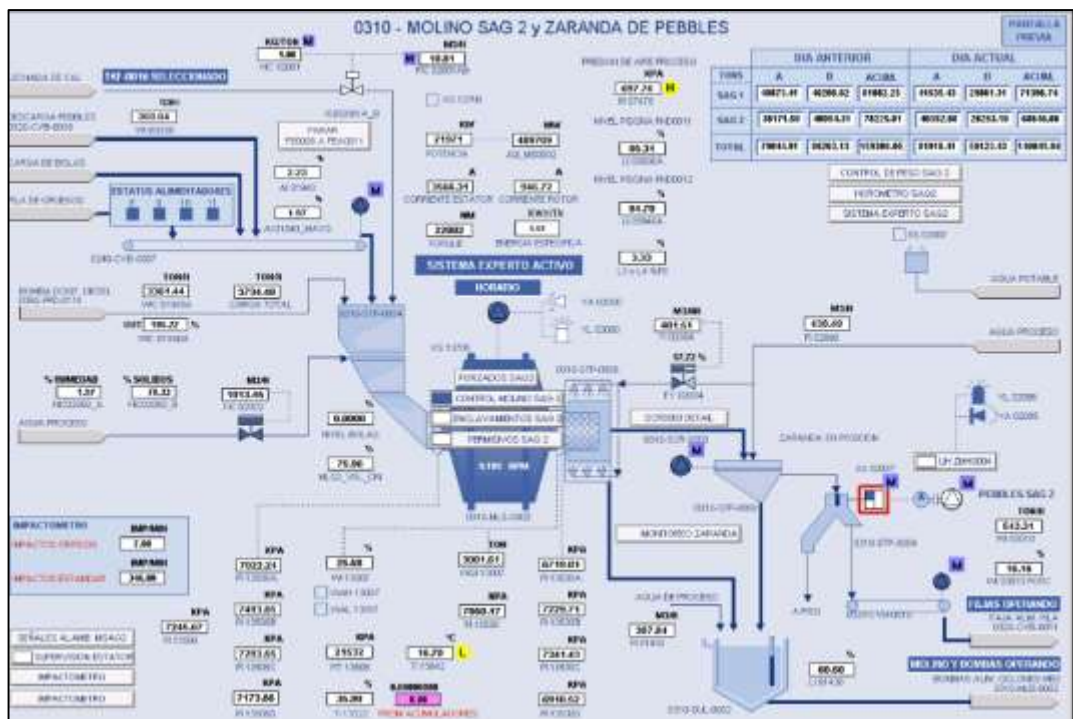


Figura 2.7: Molienda Primaria SAG 002

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

Para molienda SAG el parámetro más importante es el peso del trabajo de molino este peso de trabajo es el peso del molino más las billas que contiene el molino y más la carga del material que ingresa.

Metalúrgicamente está relacionado al JC que es nivel de billas más mineral, que se puede determinar realizando un crash stop al molino SAG.

Variables Manipulables

- La velocidad del molino SAG.
- El porcentaje de sólidos del sistema.
- El tonelaje de ingreso al molino.
- El pebbles de alimentación a la faja de colección.

Parámetros a controlar

- La potencia del molino SAG.
- La cantidad de impactos críticos y estándar del molino SAG.
- La corriente del estator del molino SAG.
- La corriente del rotor del molino SAG.
- El torque del molino SAG.
- La producción de pebbles del molino SAG.
- La presión en los descansos del molino SAG.
- Pero principalmente el peso de trabajo del molino SAG.

Desde sala de control se prioriza el control del peso de trabajo ya que este peso es ideal para la producción de pebbles y para generar una moliendabilidad adecuada en el molino SAG. Es importante saber que dependiendo del material

que se esté tratando va a cambiar este peso de trabajo, normalmente para material grueso y competente trabajamos con pesos altos también con sólidos al 70% con la finalidad de no afectar nuestro throughput en molinera SAG, Cuando tenemos material menos competente y de gran cantidad de porcentaje de finos trabajamos con sólidos del 78% para aliviar nuestra molinera secundaria ya que sólo tenemos un molino de bolas por cada molinera SAG.

Para tener un buen control del sistema de molinera nos ayudamos de las tendencias en línea sea del el DCS o PI coresight.

Manejo Operacional en la Molinera Secundaria

La molinera secundaria consta de un molino de bolas, un cajón Sull, dos bombas warman y dos baterías de ciclones de 12 ciclones cada una.

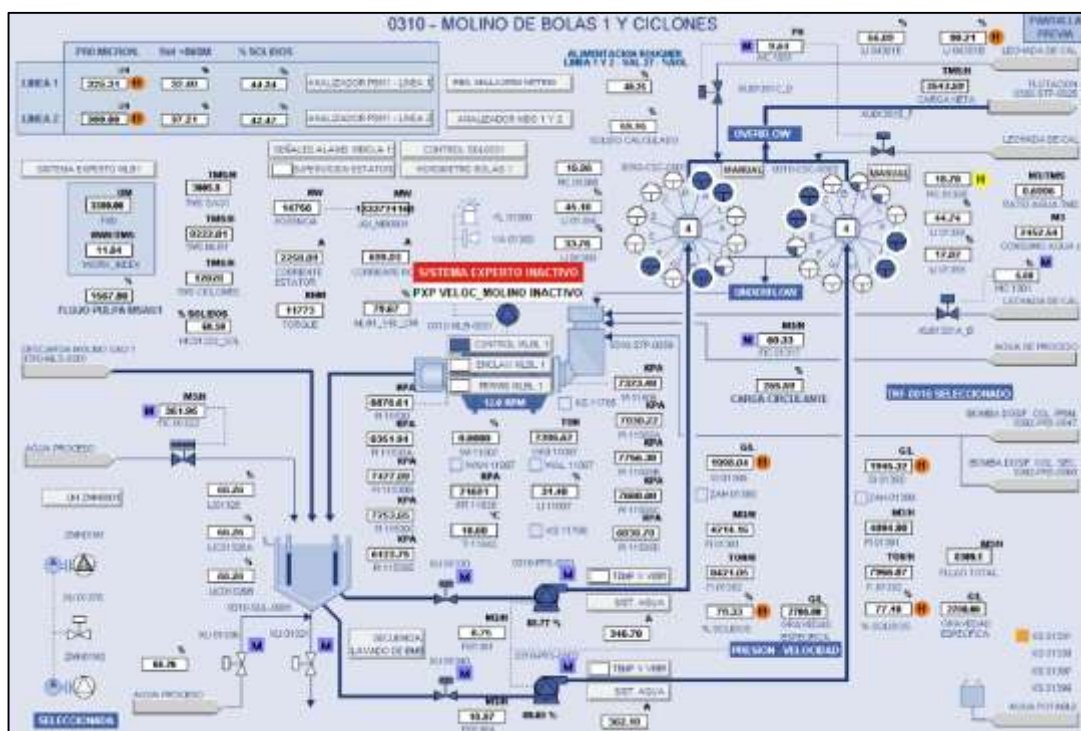


Figura 2.8: Molinera Secundaria MLB 001.

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

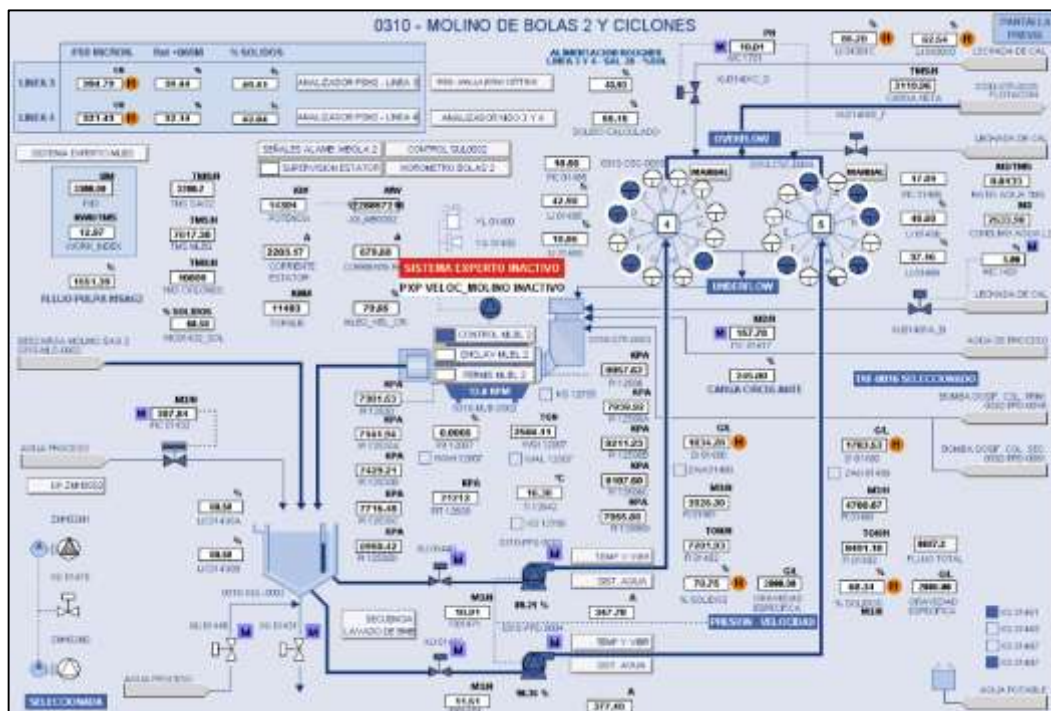


Figura 2.9: Molienda Secundaria MLB 002

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021).

Cómo se aprecia es un circuito cerrado, el control operativo desde sala de control se basa principalmente en controlar la potencia como variable principal y el peso del molino de bolas es importante mantener la estabilidad de la potencia y el peso a fin de evitar cortocircuitos y sobrecargas en la molienda secundaria.

Si bien se tiene un molino de bolas para un molino SAG debemos controlar lo más estable posible el circuito de molienda secundaria ya que trabajamos con densidades altas hacia flotación y en la descarga del molino de bolas a fin de no incrementar la carga circulante de sobremanera.

Una manera de controlar la potencia en molienda secundaria cuando pasamos toneladas relativamente altas es alimentar con agua en el chute alimentación del

molino de bolas, a fin de descargar el molino e incrementar la potencia, esta adición de agua debe ser sólo la necesaria evitando aumentar el P_{80} tamaño de corte hacia flotación.

Para nuestro sistema es importante controlar el P_{80} a flotación ya que es el producto final del circuito de molienda, En nuestra operación el P_{80} está entre 240 micras a 370 micras, Esto va a depender del tonelaje a tratar en ese instante.

Manejo Operacional en el Circuito de Pebbles

Nuestro circuito de pebbles es abastecido principalmente por el material que descargan nuestros molinos de SAG, estos provienen de nuestras zarandas, el oversize de la zaranda es colectada por la faja 10 y la faja 11, el pebbles generado desemboca en un stock de pebbles que luego serán chancadas por tres chancadoras MP 1000 METSO.

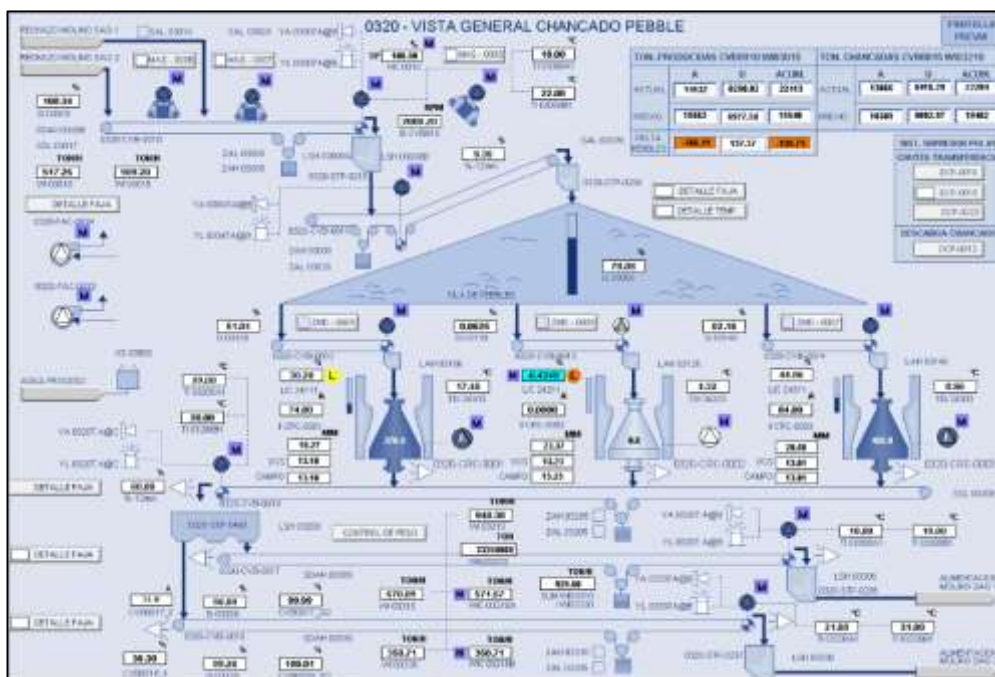


Figura 2.10: Circuito de pebbles

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

El control operativo se basa principalmente en mandar este pebbles hacia el circuito de chancadoras, pero mandarlo de una forma adecuada con un porcentaje de finos menor al 12% ya que este material no será tan crítico al momento de chancar en las mismas.

Operativamente podemos trabajar con tres chancadoras o dos chancadoras. Esto va a depender de la necesidad si es que producimos bastante pebbles por ambos molinos SAGs vamos a trabajar necesariamente con tres pebbles necesariamente tendremos más cuidado en no sobrecargar los molinos de bolas evitando que se sobrecargue, sin embargo, si producimos poco pebbles vamos a tener que trabajar sólo con dos pebbles y conseguir el equilibrio entre lo chancado y producido.

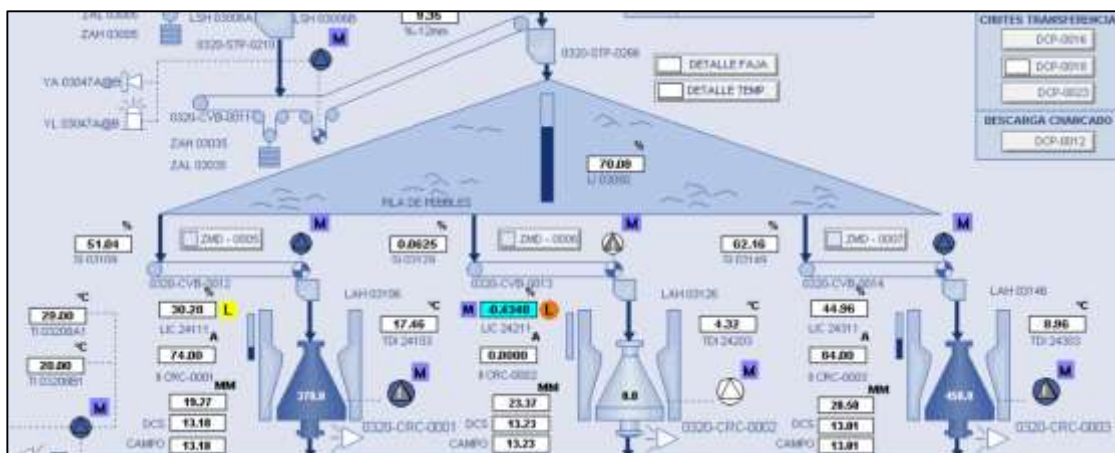


Figura 2.11: Chancadoras MP1000 METSO

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

El producto que ingresa al stockpile de pebbles está en 72 mm y tenemos que sacar un producto por las chancadoras con un tamaño de corte de 13 mm que está bordeando entre 58% a 72% -1/2 pulgada en finos.

Consideraciones particulares de las chancadoras MP1000 de pebbles

Este producto final es derivado hacia ambos Molino SAG mediante la faja 17 y faja 18. Para nuestra investigación, nos enfocaremos básicamente en el empleo de los pebbles en la molienda SAG

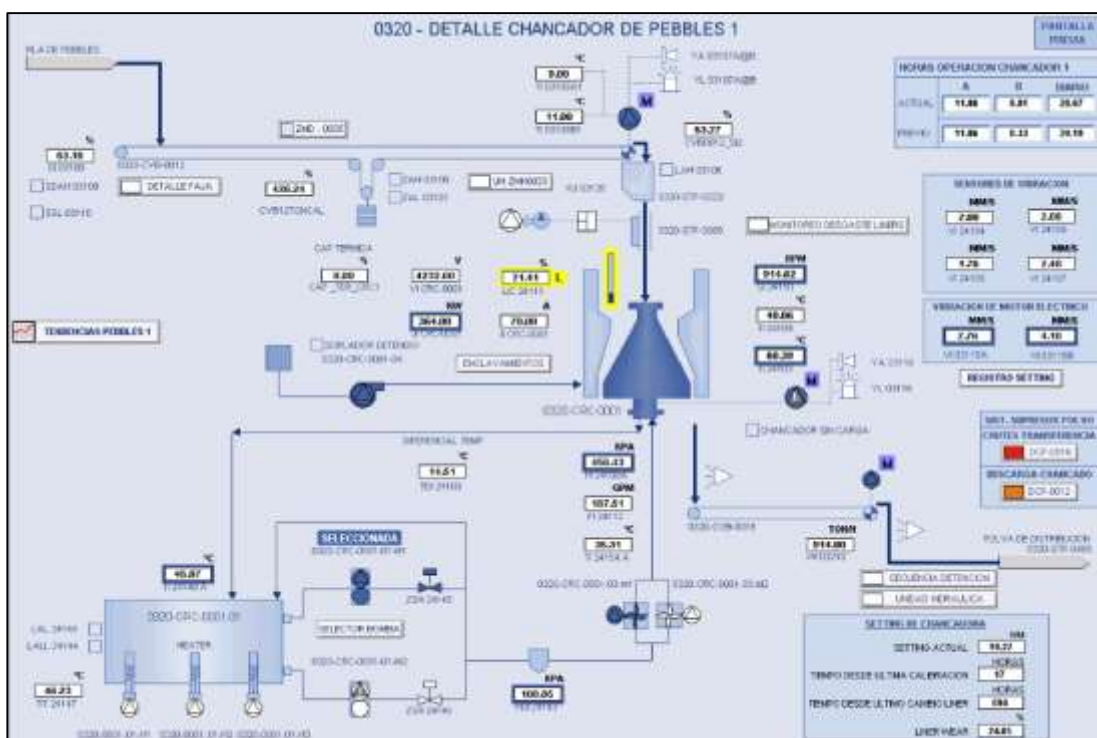


Figura 2.12: Chancadora MP1000 METSO, CRC 001.

Fuente: Elaboración propia HMI Las Bambas (2021)

Es importante tener en cuenta que estas chancadoras de pebbles te generan un mejor producto cuando las tasas de trabajo están por encima del 35% pero para conseguir esto tenemos que controlar parámetros como la temperatura del buje del excéntrica la temperatura del aceite de retorno y la temperatura diferencial de la propia chancadora, por la experiencia es importante trabajar con un nivel de carga en el cual nos garantice que tapé el feed plate de la chancadora.

Manejo Operacional con el sistema Experto en la Molienda

El sistema experto PXP de FLSmith, es una herramienta que nos sirve para maximizar tonelajes de forma automática.

Operativamente lo utilizamos cuando estabilizamos el sistema y queremos que el sistema experto lo lleve De una forma constante siempre maximizando el tonelaje a tratar.

Para eso nosotros desde control Room le seteamos parámetros mínimos y máximos afín de que simultáneamente estén controlado nuestros parámetros de trabajo y se pueda maximizar tonelajes automáticamente.

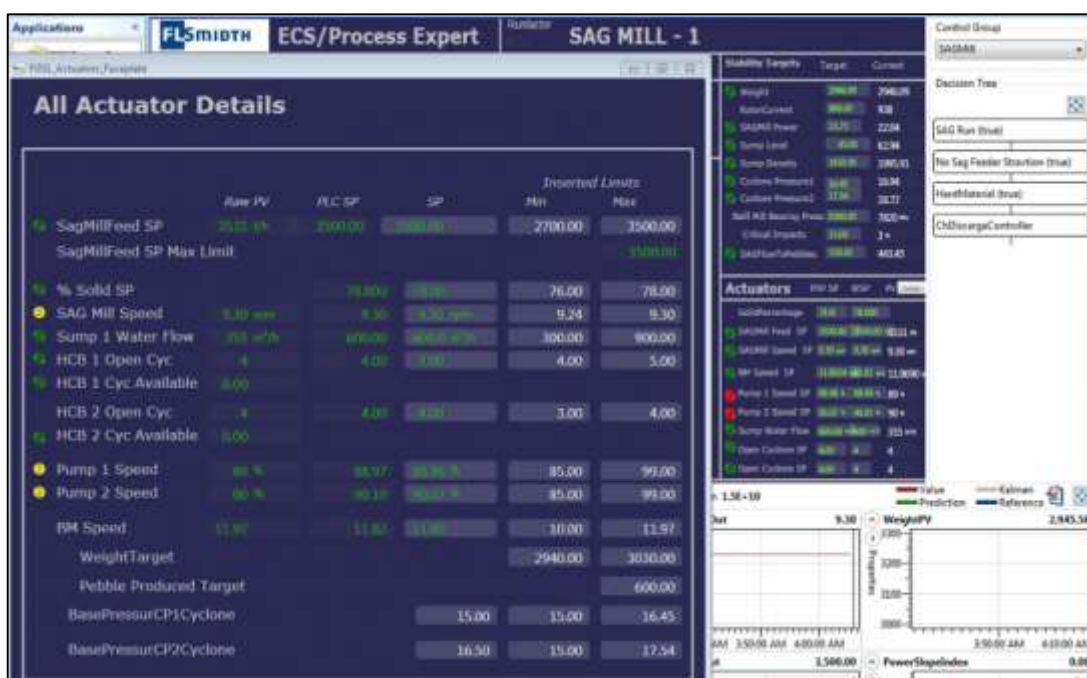


Figura 2.13: PXP FLSmith en Molienda.

Fuente: Elaboración propia PXP FLSmith. Las Bambas (2021)

En el sistema experto tenemos un target en el que podemos setear corriente del rotor, potencia de molino, nivel del sull, impactos críticos, presión de los ciclones y pebbles producido.

También el sistema experto tiene un apartado en el cual podemos aperturar un pop up, que nos mostrará los actuadores del faceplate.

En el cual setearemos s rangos de trabajo como la alimentación de tonelaje fresco, el porcentaje de sólidos de trabajo del molino SAG, la velocidad del molino SAG, Pero principalmente el peso del molino SAG.

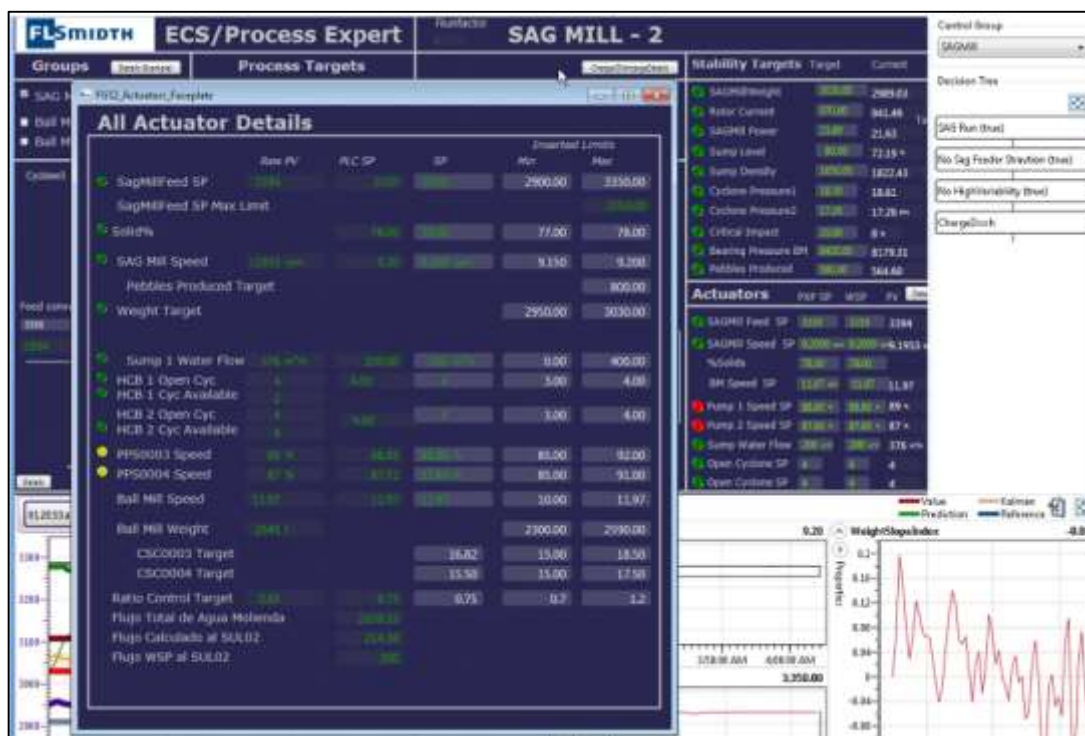


Figura 2.14: PXP FLSmidth en Molienda.

Fuente: Elaboración propia PXP FLSmidth. Las Bambas (2021)

Cómo se mencionó anteriormente el peso del molino SAG será el principal parámetro a controlar por esa razón es importante darle rangos de trabajo acorde al material que se esté tratando en ese instante, esto también dependiendo del porcentaje de finos y competencia del material que está entrando al circuito de molienda.

Para esta investigación es importante también considerar el tonelaje de pebbles que este ingresando al sistema en ese momento ya que cambiará el peso de trabajo y la producción de pebbles en el molino SAG.

Actualmente se está trabajando con el sistema experto en el circuito de molienda SAG, sin embargo, Aún se está reforzando las modificaciones en la molienda secundaria para con el experto que implica aperturar o cerrar los ciclones dependiendo del nivel del SULL.

Es importante colocar los rangos de trabajo adecuado, debido a que debemos pensar también en la molienda secundaria ya que esta tiende a sobre cargarse debido a que trabajamos al límite por ser solo un molino de Bolas por molino SAG.

Manejo operacional con el sistema experto en el circuito de pebbles

Este apartado del sistema experto Se basa principalmente en qué la chancadora de pebbles no se detenga para esto se setean límites máximos y mínimos del nivel de tasa a fin de que automáticamente pueda controlar este nivel en base a la diferencial de temperatura de la propia chancadora haciendo que estén no llegué a una temperatura diferencial de 20 grados centígrados.

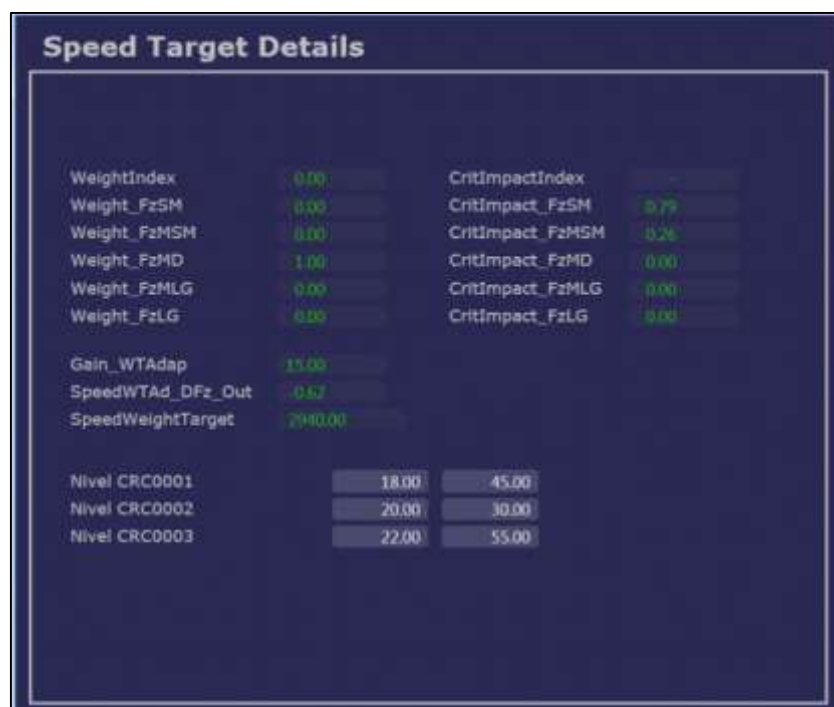


Figura 2.15: PXP FLSmith en Pebbles

Fuente: Elaboración propia PXP FLSmith. Las Bambas (2021).

Es decir, si la temperatura diferencial esta próxima 20 grados centígrados el nivel de la tasa baja automáticamente y si la temperatura diferencial está muy por debajo el nivel de la taza tiende a subir hasta el límite máximo.

2.3. Sistema Experto de Molienda

Describe la interfaz de usuario del Sistema Experto de Molienda, las estrategias de control diseñadas de acuerdo con las características operativas que se tiene en la Empresa y su forma de operación de tal manera que se comprenda la filosofía de control utilizada para controlar el molino SAG y el molino de Bolas, los Nidos de ciclones y las bombas de alimentación hacia cada uno de los molinos de bolas.



Figura 2.16: PXP Flsmidth, Workplace.

Fuente: Elaboración propia PXP FLsmidth. Las Bambas (2021)



Figura 2.17: PXP Flsmidth actuator Detalles

Fuente: Elaboración propia PXP FLsmidth. Las Bambas (2021)

Interfaz de usuario del Sistema Experto de Molienda

- Permite seleccionar la aplicación FGS1 o FGS2.
- Permite detener o poner en funcionamiento la aplicación.
- Muestra si el grupo de control se encuentra “Ready (Listo)” y/o “Run (aplicación en funcionamiento)”
- Permite seleccionar de modo manual ciertos controladores.

- Tiene tres tipos de usuarios

FIsOperator: Tiene acceso solo para la operación del proceso.

FIsEngineer: Permite realizar modificaciones en la lógica de control.

FIsAdmin: Usuario definido para uso del fabricante.

- **Targets,** permite setear los valores de las referencias o variables objetivos (Targets, valores en color verde) tanto del Molino SAG como del Molino de Bolas. Estos seteos nos permiten definir en qué valores deseamos que el sistema experto controle nuestro proceso de molienda. Es importante tener en cuenta que existen algunos targets que son calculados por el PXP y otros son seteables por el coordinador de sala de control desde el HMI.
- **Actuadores,** son en realidad los Set Point Remotos de los diferentes controladores PID's configurados en el DCS como, por ejemplo, el controlador WIC01140A. PXP_SP, es el setpoint calculado por un controlador en el PXP. WSP, es el setpoint enviado por el PXP hacia el DCS y nos indica si realmente se seteo el valor del PXP_SP en el DCS. PV, es el valor actual de una variable en el DCS, como, por ejemplo, la velocidad, alimentación fresca, etc.
- **Grupos de Control,** permite seleccionar un grupo de control dentro de los configurados para la aplicación.

- Tendencia del Controlador MPC, esta tendencia muestra los valores de las variables objetivo y los actuadores configurados en el controlador MPC. En el lado izquierdo están los actuadores con sus acciones de control pasadas y los setpoint futuros mientras que en el lado derecho muestra el comportamiento de las variables objetivo en el pasado y su predicción en el futuro en base a las acciones de control calculadas.
- Tendencia de procesos, es una tendencia configurada por el usuario, generalmente muestra los valores de las variables más resaltantes de la aplicación.

2.4. Pebbles

Fragmentos de mineral de un determinado tamaño normalmente de 3 pulgadas provenientes de las parrillas del molino SAG, clasificados en una zaranda, cuya principal característica es altamente dura.

Se aprecia que este material se produce cuando entra material Competente y crítico al molino SAG.



Figura 2.18: Stock pile de pebbles.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada (2021)



Figura 2.19: Stock pile de pebbles distribución de carga.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada (2021)



Figura 2.20: Pebbles generado por el molino SAG

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada (2021)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Análisis de litología y mineralogía

Tabla 3.1: Litología y mineralogía carga fresca a molienda

23/01/2021		TA	TB	DIA
LITOLOGIA (%)	PORFIDO	79,50	78,50	79,00
	SKARN	10,40	12,30	11,35
	MARMOL	10,10	9,20	9,65
MINERALOGIA (%)	SULFURO	94,80	93,60	94,20
	MIXTO	5,20	6,40	5,80

Fuente: Departamento de Metalurgia. Las bambas (2021)

Tabla 3.2: Litología y mineralogía carga fresca hacia a molienda

25/01/2021		TA	TB	DIA
LITOLOGIA (%)	PORFIDO	84,60	82,80	83,70
	SKARN	10,40	10,20	10,30
	MARMOL	5,00	7,00	6,00
MINERALOGIA (%)	SULFURO	87,50	84,80	86,15
	MIXTO	12,50	15,20	13,75

Fuente: Departamento de Metalurgia. Las bambas (2021)

Tabla 3.3: Litología y mineralogía carga fresca hacia a molienda

19/04/2021		TA	TB	DIA
LITOLOGIA (%)	PORFIDO	78,10	79,40	78,75
	SKARN	21,90	20,60	21,25
	MARMOL	0,00	0,00	0,00
MINERALOGIA (%)	SULFURO	100,00	100,00	100,00
	MIXTO	0,00	0,00	0,00

Fuente: Departamento de Metalurgia. Las bambas (2021)

Tabla 3.4: Litología y mineralogía carga fresca a molienda

09/06/21		TA	TB	DIA
LITOLOGIA (%)	PORFIDO	60,20	72,20	66,20
	SKARN	10,70	7,40	9,05
	MARMOL	29,10	20,40	24,75
MINERALOGIA (%)	SULFURO	69,50	82,50	76,00
	MIXTO	30,50	17,50	24,00

Fuente: Departamento de Metalurgia. Las bambas (2021)

3.2. Análisis de difracción de rayos x

Tabla 3.5: Difracción de Rayos X de la línea 001 (23/01/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs
Cu Sulfuros	1.56	2.58	2.36			
Molibdenita	0.00	0.00	0.00			
Pirita	0.00	0.00	0.00			
Carbonatos	15.27	6.57	12.56			
Calcita				5.67	5.01	4.67
Dolomita	0.00	0.00	0.00			
Arcillas				0.77	0.83	0.78
Micas						
Anfibioles						
Cloritas						
Talco	0.000	0.000	0.000			
Granates						
Plagioclasas						
Piroxeno						
Hematita	0.00	0.00	0.00			
Magnetita	0.00	0.00	0.00			
Cuarzo						
Cu Nativo	0.00	0.00	0.00			
Magnesio						
Calcio						

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

Tabla 3.6: Difracción de Rayos X de la línea 002 (23/01/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs
Cu Sulfuros	1.47	2.11	2.20			
Molibdenita	0.00	0.00	0.00			
Pirita	0.00	0.00	0.00			
Carbonatos	12.47	7.56	10.46			
Calcita				5.62	5.36	4.63
Dolomita	0.00	0.00	0.00			
Arcillas				0.73		0.81
Micas						
Anfibioles						
Cloritas						
Talco	0.00	0.00	0.00			
Granates						
Plagioclasas						
Piroxeno						
Hematita	0.00	0.00	0.00			
Magnetita	0.00	0.00	0.00			
Cuarzo						
Cu Nativo	0.00	0.00	0.00			
Magnesio						
Calcio						

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

Tabla 3.7: Difracción de Rayos X de la línea 001 (25/01/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs	02-06hrs
Cu Sulfuros	0.99	0.50	0.84	0.78	1.19	1.38	1.59
Molibdenita	0.13	0.28	0.08	0.16	0.10	0.05	0.11
Pirita	0.16	0.25	0.07	0.16	0.04	0.01	0.00
Carbonatos	7.66	5.81	5.85	6.44	6.77	4.82	5.38
Calcita	7.22	5.35	5.85	6.14	6.74	4.42	5.02
Dolomita	0.44	0.46	0.00	0.30	0.02	0.40	0.36
Arcillas	0.50	0.28	0.30	0.36	0.01	0.27	0.25
Micas	4.11	2.89	3.76	3.59	1.74	3.32	3.85
Anfibolios	4.14	4.46	4.48	4.36	4.22	3.16	3.49
Cloritas	1.71	1.07	0.87	1.22	1.20	0.32	1.04
Talco	0.20	0.11	0.31	0.21	0.15	0.00	0.00
Granates	5.30	5.76	6.61	5.9	6.37	12.57	11.65
Plagioclasas	51.2	56.9	57.6	55.3	56.6	48.9	47.3
Piroxeno	6.20	5.13	4.36	5.23	6.22	10.62	10.60
Hematita	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Magnetita	0.20	0.35	0.00	0.18	0.00	0.59	0.79
Cuarzo	17.2	15.1	14.2	15.5	15.0	13.2	13.6
Cu Nativo	0.04	0.22	0.05	0.10	0.06	0.01	0.03
Magnesio	1.66	1.83	1.42	1.57	1.61	1.96	1.87
Calcio	7.86	7.83	8.17	7.95	8.85	9.63	8.70

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

Tabla 3.8: Difracción de Rayos X de la línea 002 (25/01/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs	02-06hrs	AVG
Cu Sulfuros	0.91	0.67	0.74	0.77	0.75	1.40	1.28	1.14
Molibdenita	0.08	0.11	0.19	0.13	0.08	0.08	0.11	0.09
Pirita	0.11	0.05	0.00	0.05	1.20	0.00	0.00	0.40
Carbonatos	6.30	6.28	7.17	6.58	8.17	6.35	6.52	7.01
Calcita	6.13	5.26	6.80	6.06	7.94	6.10	6.50	6.85
Dolomita	0.17	1.02	0.37	0.52	0.23	0.25	0.02	0.17
Arcillas	0.21	0.75	0.45	0.47	0.50	0.30	0.96	0.59
Micas	2.43	2.03	2.45	2.30	3.68	2.88	1.64	2.73
Anfibolios	3.96	4.15	4.20	4.10	2.01	2.05	3.49	2.52
Cloritas	1.61	0.60	0.47	0.89	0.57	1.22	0.60	0.80
Talco	0.070	0.191	0.000	0.09	0.166	0.013	0.283	0.15
Granates	4.66	5.03	7.29	5.7	6.06	12.10	11.32	9.8
Plagioclasas	58.1	56.9	55.8	56.9	52.4	53.1	48.5	51.3
Piroxeno	5.11	4.04	5.39	4.84	7.01	6.41	8.68	7.37
Hematita	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Magnetita	0.30	0.15	0.31	0.25	0.21	0.09	0.19	0.16
Cuarzo	15.6	17.7	14.8	16.0	16.7	13.8	15.6	15.4
Cu Nativo	0.06	0.14	0.04	0.08	0.09	0.04	0.07	0.07
Magnesio	1.53	1.63	1.53	1.56	1.49	1.37	1.90	1.59
Calcio	7.84	7.50	8.67	8.00	8.75	9.67	9.52	9.31

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

Tabla 3.9: Difracción de Rayos X de la línea 001 (19/04/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs	02-06hrs
Cu Sulfuros	1.78	1.46	1.65	1.63	1.34	1.33	1.20
Molibdenita	0.04	0.31	0.03	0.13	0.02	0.04	0.22
Pirita	0.12	0.00	0.07	0.06	0.94	0.16	0.34
Carbonatos	7.51	8.43	7.42	7.79	6.03	5.55	7.15
Calcita	7.16	7.47	7.42	7.35	5.90	5.43	6.68
Dolomita	0.35	0.96	0.00	0.44	0.13	0.12	0.47
Arcillas	0.92	0.81	0.88	0.87	1.09	0.82	0.96
Micas	2.32	1.65	1.54	1.84	2.91	1.58	2.12
Anfiboles	2.66	3.29	2.89	2.95	2.67	1.84	3.41
Cloritas	2.13	2.01	2.46	2.20	2.35	3.54	2.53
Talco	0.000	0.170	0.000	0.06	0.000	0.010	0.000
Granates	8.17	7.27	9.04	8.2	7.48	7.04	3.87
Plagioclasas	49.4	50.4	51.3	50.4	54.3	57.8	53.4
Piroxeno	5.74	5.39	6.92	6.02	5.44	4.10	6.09
Hematita	0.61	0.00	0.11	0.24	0.12	0.43	0.13
Magnetita	0.23	0.82	0.13	0.39	0.03	0.25	1.13
Cuarzo	17.5	16.9	14.5	16.3	14.0	14.6	16.1
Cu Nativo	0.02	0.22	0.10	0.11	0.12	0.02	0.08
Magnesio	1.74	1.76	1.77	1.76	1.78	1.51	1.76
Calcio	8.84	8.65	9.10	8.86	8.34	7.85	7.81

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

Tabla 3.10: Difracción de Rayos X de la línea 002 (19/04/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs
Cu Sulfuros	1.11	1.43	1.04	1.19	2.32	2.71
Molibdenita	0.02	0.13	0.27	0.14		0.59
Pirita	0.88	0.16	0.77	0.60	0.21	0.08
Carbonatos	4.07	10.76	22.46	12.43		10.82
Calcita	3.83	9.84	18.45	10.71	15.54	10.66
Dolomita	0.24	0.92	4.01	1.72	No Data	0.16
Arcillas	1.06	0.81	0.93	0.93		1.01
Micas	1.59	1.79	1.35	1.58		2.21
Anfiboles	2.26	1.26	1.90	1.81	1.15	0.98
Cloritas	1.96	2.26	1.88	2.04	2.44	1.42
Talco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
Granates	7.64	12.99	9.75	10.1	14.27	13.22
Plagioclasas	56.5	44.6	38.5	46.5	35.2	46.4
Piroxeno	6.08	7.09	5.53	6.23	5.54	5.19
Hematita	0.00	0.54	0.07	0.20	0.65	0.37
Magnetita	0.08	0.63	0.19	0.30	0.25	0.18
Cuarzo	14.9	13.2	12.7	13.6	13.3	12.8
Cu Nativo	0.02	0.17	0.33	0.17	0.11	0.05
Magnesio	1.88	2.03	2.25	2.05	1.99	1.57
Calcio	7.79	11.03	13.68	10.83	12.07	10.93

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

Tabla 3.11: Difracción de Rayos X de la línea 001 (09/06/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs
Cu Sulfuros	1.00	0.69	0.69	0.79	0.77	0.93
Molibdenita	0.32	0.16	0.20	0.23	0.07	0.10
Pirita	0.48	0.75	0.20	0.48	0.40	0.15
Carbonatos	3.01	3.11	3.97	3.36	3.86	5.07
Calcita	2.25	3.05	3.95	3.08	3.57	3.43
Dolomita	0.76	0.06	0.02	0.28	0.29	1.64
Arcillas	0.91	0.92	0.60	0.81	0.81	0.66
Micas	3.05	0.44	0.91	1.47	1.25	2.11
Anfibolios	2.91	0.87	2.35	2.04	1.15	2.16
Cloritas	3.44	2.90	1.23	2.52	2.08	2.23
Talco	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
Granates	1.78	2.12	1.94	1.9	0.23	0.55
Plagioclasas	63.0	67.69	66.56	65.7	67.62	66.01
Piroxeno	1.41	0.91	4.96	2.43		2.32
Hematita	0.18	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Magnetita	0.05	0.15	0.42	0.21	0.15	0.15
Cuarzo	18.14	19.30	15.96	17.8		17.55
Cu Nativo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Magnesio	1.41	0.77	1.31	1.16	1.13	1.57
Calcio	5.58	6.19	6.89	6.22	6.36	6.23

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

Tabla 3.12: Difracción de Rayos X de la línea 002 (09/06/2021)

Mineral	06-10hrs	10-14hrs	14-18hrs	AVG	18-22hrs	22-02hrs
Cu Sulfuros	1.06	2.32	2.06	1.81	2.02	1.27
Molibdenita	0.13	0.05	0.21	0.13	0.15	0.22
Pirita	0.00	0.20	0.25	0.15	0.19	0.15
Carbonatos	29.93	21.51	14.02	21.82	5.37	3.96
Calcita	29.70	21.07	13.14	21.30	5.23	3.65
Dolomita	0.23	0.44	0.88	0.52	No Data	0.31
Arcillas	0.49	0.58	0.48	0.52		0.29
Micas	5.48	4.57	2.76	4.27		3.95
Anfibolios	1.28	1.50	1.37	1.38	2.46	1.87
Cloritas	0.47	1.09	1.19	0.92	1.76	2.93
Talco	0.00	0.03	0.07	0.03	0.10	0.14
Granates	14.48	14.69	16.44	15.2	4.42	2.44
Plagioclasas	30.2	32.2	40.0	34.1	58.2	60.3
Piroxeno	7.89	10.93	8.37	9.06	1.63	1.66
Hematita	0.00	0.21	0.37	0.19	0.08	0.39
Magnetita	0.43	0.00	0.30	0.24	0.21	0.11
Cuarzo	7.8	9.8	11.7	9.7	17.5	20.3
Cu Nativo	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Magnesio	1.22	1.62	1.69	1.51	1.11	1.08
Calcio	17.90	15.48	12.85	15.41	6.76	5.56

Fuente: Elaboración Propia Difracción en línea. Las bambas (2021)

3.3. Análisis de microscopía



Figura 3.1: Microscopía de la línea 001 (23/01/2021)

Fuente: Elaboración Propia Microscopía de Minerales (2021).

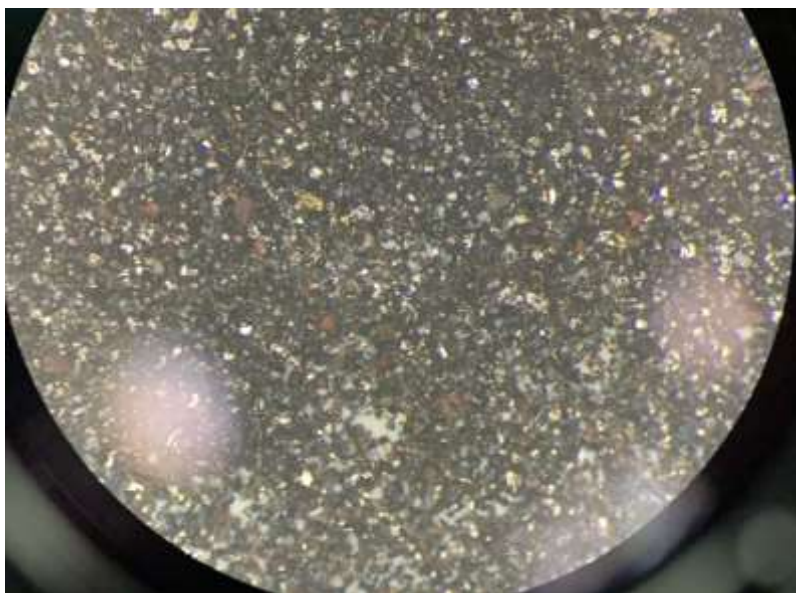


Figura 3.2: Microscopía de la línea 002 (23/01/2021)

Fuente: Elaboración Propia Microscopía de Minerales (2021).

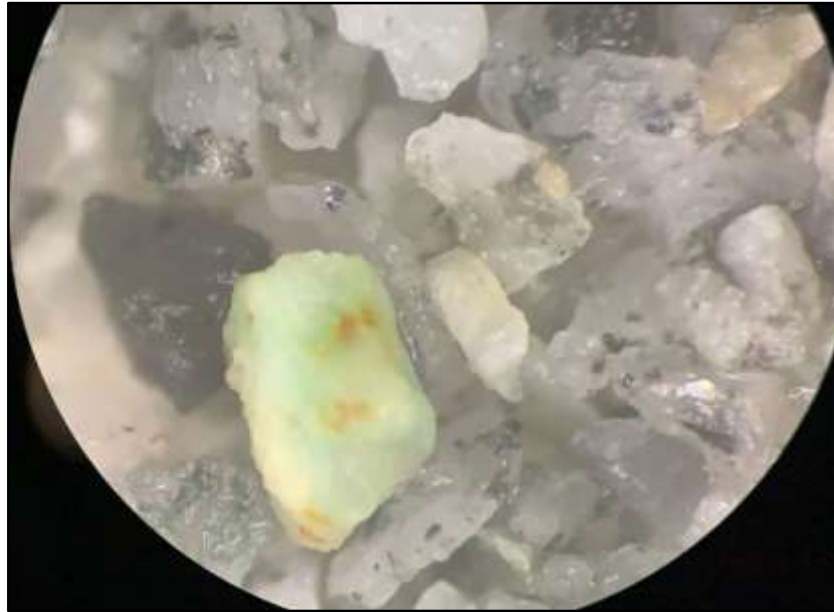


Figura 3.3: Microscopia de la línea 001 (25/01/2021).

Fuente: Elaboración Propia Microscopia de Minerales (2021).



Figura 3.4: Microscopia de la línea 002 (25/01/2021)

Fuente: Elaboración Propia Microscopia de Minerales (2021).

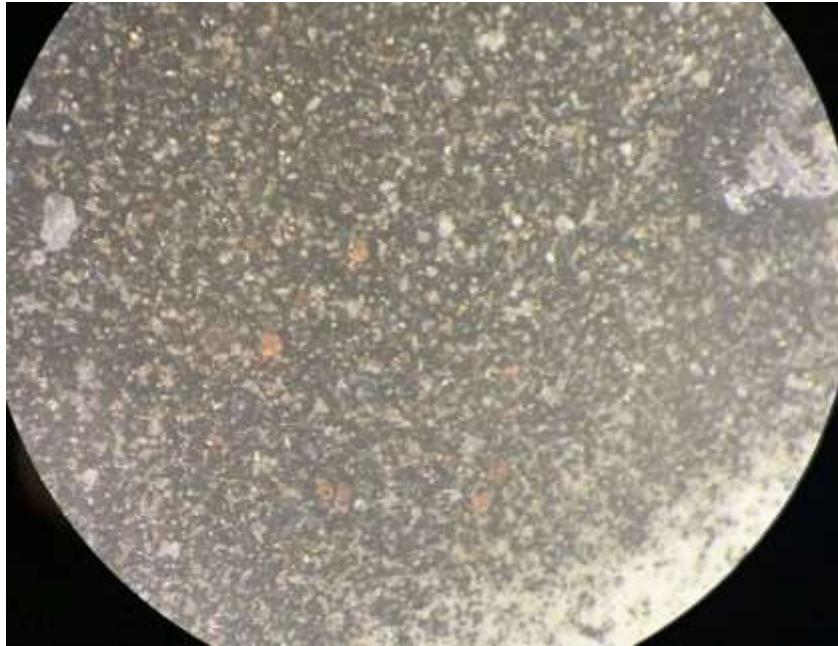


Figura 3.5: Microscopia de la línea 001 (19/04/2021)

Fuente: Elaboración Propia Microscopia de Minerales (2021).



Figura 3.6: Microscopia de la línea 002 (19/04/2021)

Fuente: Elaboración Propia Microscopia de Minerales (2021).



Figura 3.7: Microscopía de la línea 001 (09/06/2021)

Fuente: Elaboración Propia Microscopía de Minerales (2021).

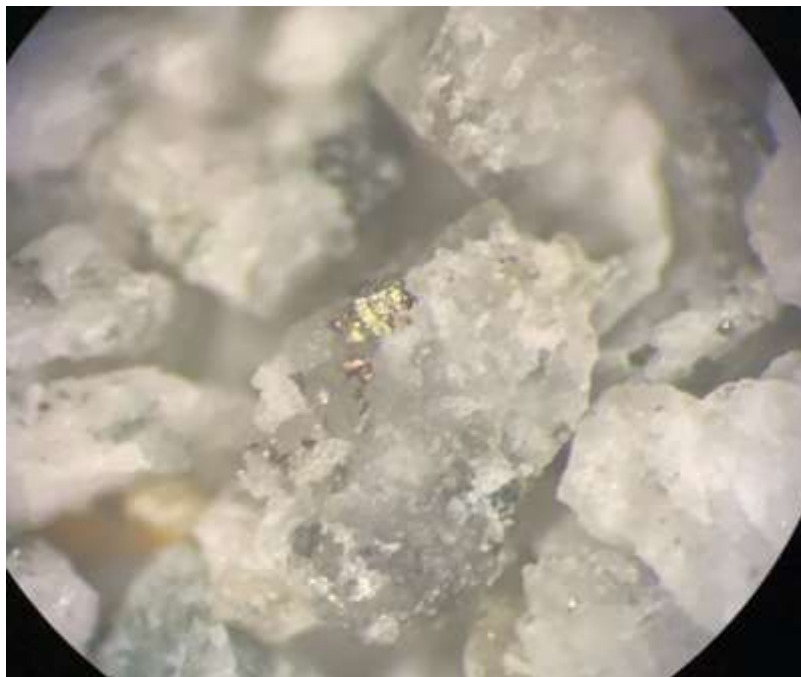


Figura 3.8: Microscopía de la línea 002 (09/06/2021)

Fuente: Elaboración Propia Microscopía de Minerales (2021).

3.4. Muestreo del circuito de chancado pebbles

Tabla 3.13: Muestreo alimentación del circuito de pebbles

N° Malla	Abertura (µm)	Peso (g)	Peso (%)	% Acumulado retenido	% Acumulado pasante
8"	200000	0	0.00	0.00	100.00
7"	175000	0	0.00	0.00	100.00
6"	150000	0	0.00	0.00	100.00
5"	125000	0	0.00	0.00	100.00
4"	100000	0	0.00	0.00	100.00
3"	75000	0	0.00	0.00	100.00
2.5"	63000	0	0.00	0.00	100.00
2.12"	53000	0	0.00	0.00	100.00
1.75"	45000	0	0.00	0.00	100.00
1.5"	37500	0	0.00	0.00	100.00
1.25"	31500	0	0.00	0.00	100.00
1.06"	26500	0	0.00	0.00	100.00
7/8"	22400	2985	10.71	10.71	89.29
3/4"	19000	7098	25.46	36.17	63.83
5/8"	16000	6371	22.85	59.03	40.97
1/2"	12500	4764	17.09	76.12	23.88
3/8"	9500	1847	6.63	82.74	17.26
1/4"	6350	1491	5.35	88.09	11.91
4	4750	617	2.21	90.30	9.70
6	3350	545	1.96	92.26	7.74
8	2360	418	1.50	93.76	6.24
12	1700	257	0.92	94.68	5.32
16	1180	245	0.88	95.56	4.44
20	850	173	0.62	96.18	3.82
30	600	152	0.55	96.72	3.28
40	425	130	0.47	97.19	2.81
50	300	128	0.46	97.65	2.35
70	212	100	0.36	98.01	1.99
100	150	121	0.43	98.44	1.56
140	106	51	0.18	98.63	1.37
200	75	90	0.32	98.95	1.05
270	53	72	0.26	99.21	0.79
400	38	57	0.20	99.41	0.59
PAN		164	0.59	100.00	0.00
Peso inicial (g)		27876			
K80 (µm)		21224.9			

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

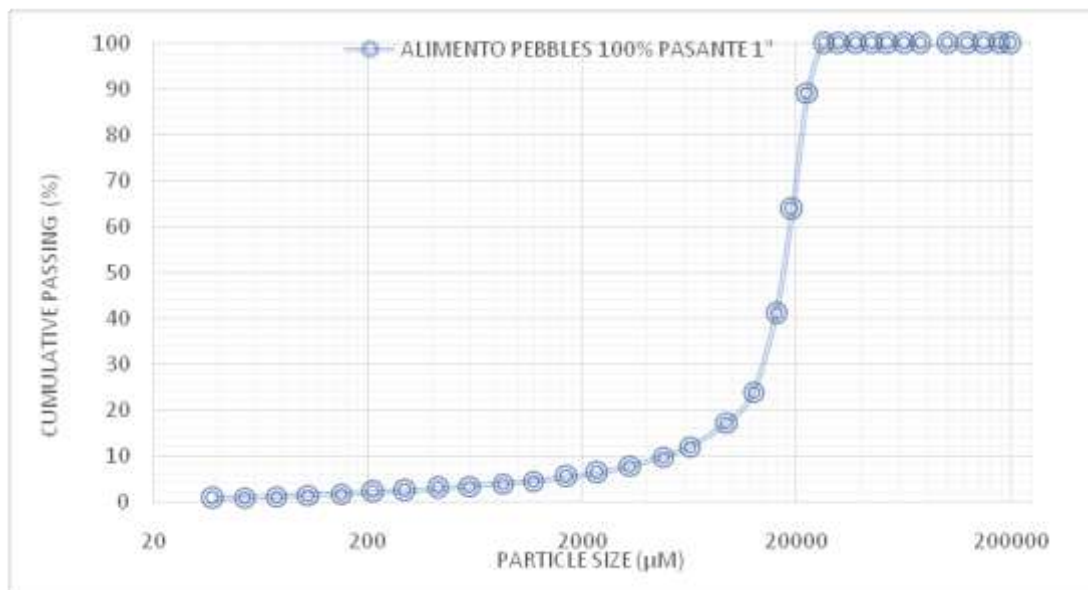


Figura 3.9: Distribución granulométrica alimentación al circuito de pebbles

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

Tabla 3.14: Muestreo alimentación de la chancadora CRC001

N° Malla	Abertura (μm)	Peso (g)	Peso (%)	% Acumulado retenido	% Acumulado pasante
6"	150000	0	0.00	0.00	100.00
5"	125000	0	0.00	0.00	100.00
4"	100000	0	0.00	0.00	100.00
3"	75000	3612	5.40	5.40	94.60
2.5"	63000	12280	18.36	23.77	76.23
2.12"	53000	7204	10.77	34.54	65.46
1.75"	45000	5598	8.37	42.91	57.09
1.5"	37500	8173	12.22	55.13	44.87
1.25"	31500	6337	9.48	64.61	35.39
1.06"	26500	5513	8.24	72.85	27.15
7/8"	22400	5343	7.99	80.84	19.16
3/4"	19000	5094	7.62	88.46	11.54
5/8"	16000	4863	7.27	95.73	4.27
1/2"	12500	2267	3.39	99.12	0.88
PAN		587	0.88	100.00	0.00
Peso inicial (g)		66871			
K80 (μm)		65501.9			

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

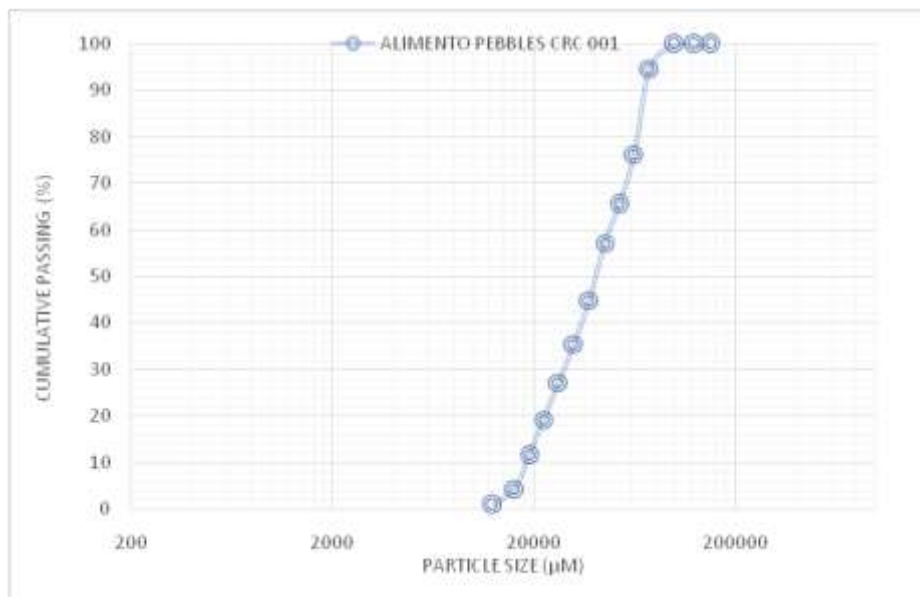


Figura 3.10: Distribución granulométrica alimentación de la chancadora CRC001

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

Tabla 3.15: Muestreo alimentación de la chancadora CRC002

N° Malla	Abertura (µm)	Peso (g)	Peso (%)	% Acumulado retenido	% Acumulado pasante
6"	150000	0	0.00	0.00	100.00
5"	125000	0	0.00	0.00	100.00
4"	100000	0	0.00	0.00	100.00
3"	75000	4838	7.37	7.37	92.63
2.5"	63000	10414	15.86	23.23	76.77
2.12"	53000	8025	12.23	35.46	64.54
1.75"	45000	7122	10.85	46.31	53.69
1.5"	37500	6898	10.51	56.82	43.18
1.25"	31500	5032	7.67	64.48	35.52
1.06"	26500	5345	8.14	72.63	27.37
7/8"	22400	5105	7.78	80.40	19.60
3/4"	19000	4890	7.45	87.85	12.15
5/8"	16000	4921	7.50	95.35	4.65
1/2"	12500	2385	3.63	98.98	1.02
PAN		668	1.02	100.00	0.00
Peso inicial (g)		65643			
K80 (µm)		65460.2			

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

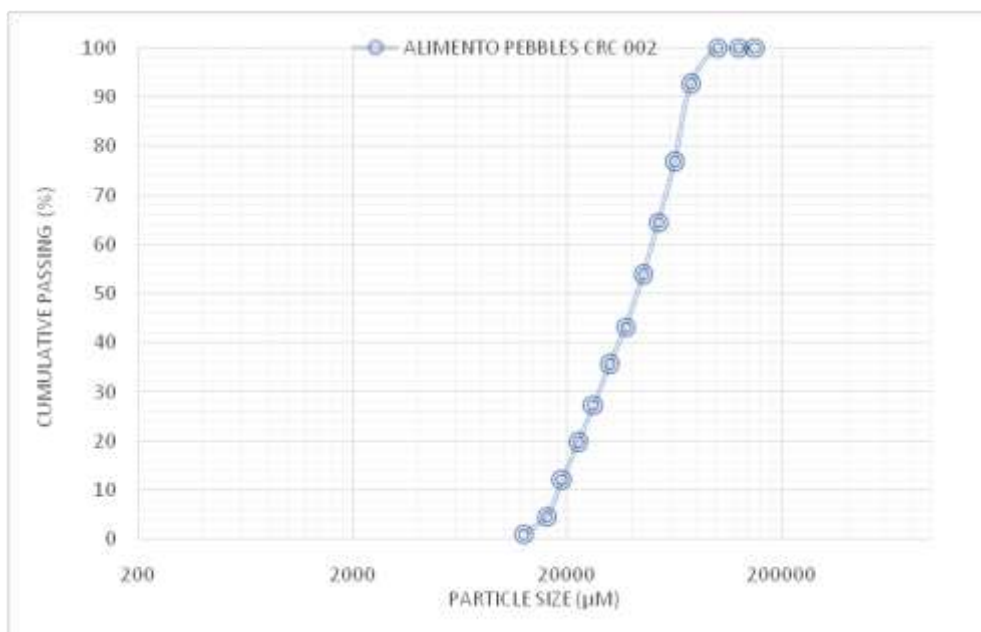


Figura 3.11: Distribución granulométrica alimentación de la chancadora CRC002

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

Tabla 3.16: Muestreo alimentación de la chancadora CRC003

N° Malla	Abertura (µm)	Peso (g)	Peso (%)	% Acumulado retenido	% Acumulado pasante
6"	150000	0	0.00	0.00	100.00
5"	125000	0	0.00	0.00	100.00
4"	100000	0	0.00	0.00	100.00
3"	75000	5454	8.40	8.40	91.60
2.5"	63000	20605	31.73	40.13	59.87
2.12"	53000	11683	17.99	58.12	41.88
1.75"	45000	8599	13.24	71.37	28.63
1.5"	37500	6924	10.66	82.03	17.97
1.25"	31500	4058	6.25	88.28	11.72
1.06"	26500	2371	3.65	91.93	8.07
7/8"	22400	2235	3.44	95.37	4.63
3/4"	19000	1413	2.18	97.55	2.45
5/8"	16000	1032	1.59	99.14	0.86
1/2"	12500	296	0.46	99.59	0.41
PAN		264	0.41	100.00	0.00
Peso inicial (g)		64934			
K80 (µm)		70949.9			

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

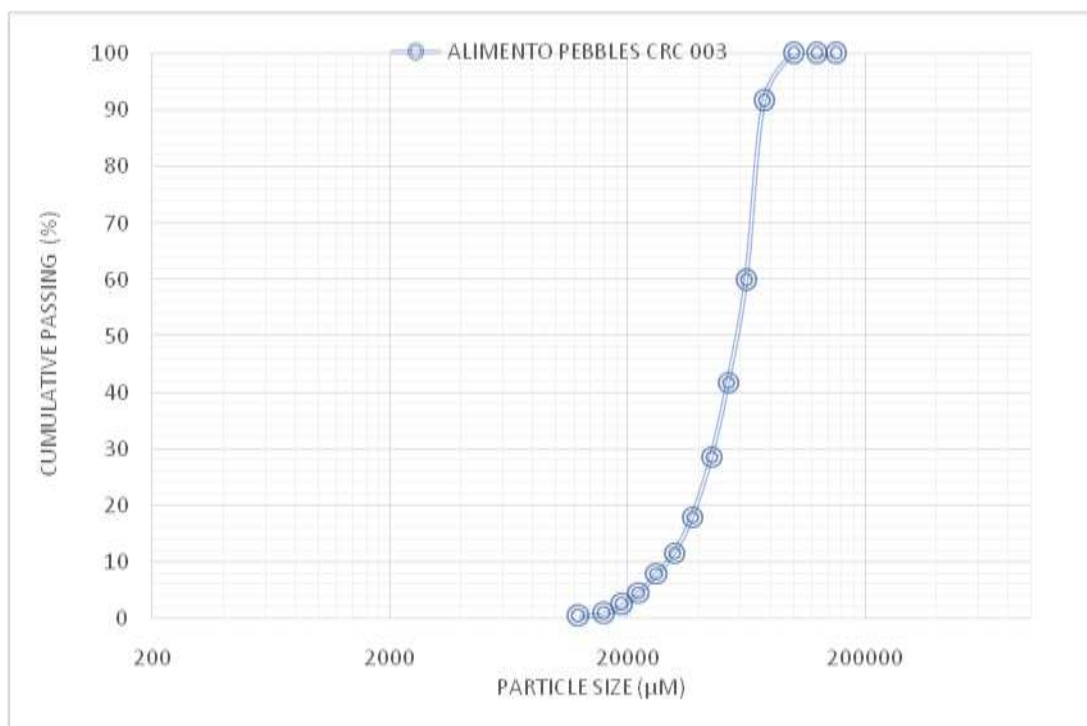


Figura 3.12: Distribución granulométrica alimentación de la chancadora CRC003

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 3.13: Chancadora CRC001 de Pebbles MP1000.

Fuente: Fotografía propia tomada de la chancadora de Pebbles 001.

Tabla 3.17: Muestreo producto de la chancadora CRC001

Nº Malla	Abertura (µm)	Peso (g)	Peso (%)	% Acumulado retenido	% Acumulado pasante
8"	200000	0	0.00	0.00	100.00
7"	175000	0	0.00	0.00	100.00
6"	150000	0	0.00	0.00	100.00
5"	125000	0	0.00	0.00	100.00
4"	100000	0	0.00	0.00	100.00
3"	75000	0	0.00	0.00	100.00
2.5"	63000	0	0.00	0.00	100.00
2.12"	53000	0	0.00	0.00	100.00
1.75"	45000	0	0.00	0.00	100.00
1.5"	37500	0	0.00	0.00	100.00
1.25"	31500	198	0.35	0.35	99.65
1.06"	26500	795	1.39	1.74	98.26
7/8"	22400	4195	7.34	9.07	90.93
3/4"	19000	7867	13.76	22.83	77.17
5/8"	16000	11685	20.44	43.27	56.73
1/2"	12500	10569	18.49	61.76	38.24
3/8"	9500	4999	8.74	70.50	29.50
1/4"	6350	5808	10.16	80.66	19.34
4	4750	2408	4.21	84.87	15.13
6	3350	1990	3.48	88.35	11.65
8	2360	1374	2.40	90.75	9.25
12	1700	776	1.36	92.11	7.89
16	1180	706	1.23	93.34	6.66
20	850	475	0.83	94.18	5.82
30	600	426	0.75	94.92	5.08
40	425	370	0.65	95.57	4.43
50	300	372	0.65	96.22	3.78
70	212	320	0.56	96.78	3.22
100	150	353	0.62	97.40	2.60
140	106	297	0.52	97.92	2.08
200	75	340	0.59	98.51	1.49
270	53	180	0.31	98.82	1.18
400	38	127	0.22	99.05	0.95
PAN		545	0.95	100.00	0.00
Peso inicial (g)		57175	100		
K80 (µm)		19700.0			

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

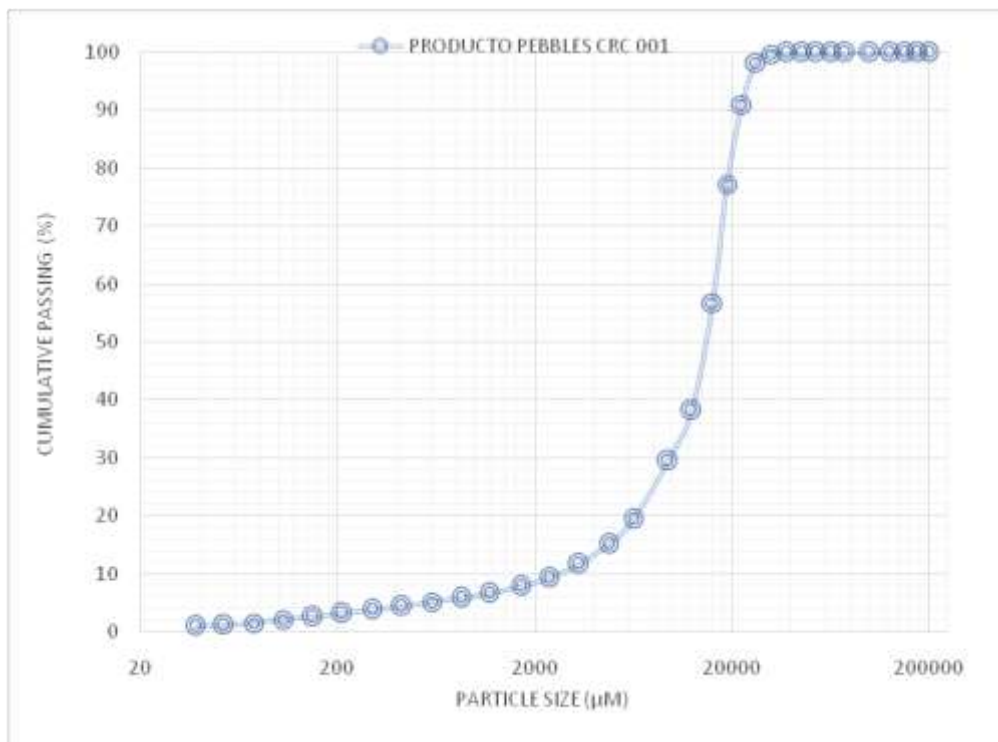


Figura 3.14: Distribución granulométrica producto de la chancadora CRC001.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 3.15: Setting de Pebbles CRC001

Fuente: Fotografía propia tomada durante la calibración de la chancadora de Pebbles (2021).

Tabla 3.18: Muestreo producto de la chancadora CRC002

N° Malla	Abertura (µm)	Peso (g)	Peso (%)	% Acumulado retenido	% Acumulado pasante
8"	200000	0	0.00	0.00	100.00
7"	175000	0	0.00	0.00	100.00
6"	150000	0	0.00	0.00	100.00
5"	125000	0	0.00	0.00	100.00
4"	100000	0	0.00	0.00	100.00
3"	75000	0	0.00	0.00	100.00
2.5"	63000	0	0.00	0.00	100.00
2.12"	53000	0	0.00	0.00	100.00
1.75"	45000	0	0.00	0.00	100.00
1.5"	37500	0	0.00	0.00	100.00
1.25"	31500	96	0.16	0.16	99.84
1.06"	26500	475	0.81	0.98	99.02
7/8"	22400	3015	5.16	6.14	93.86
3/4"	19000	7819	13.39	19.52	80.48
5/8"	16000	13487	23.09	42.61	57.39
1/2"	12500	12021	20.58	63.19	36.81
3/8"	9500	6052	10.36	73.55	26.45
1/4"	6350	5479	9.38	82.93	17.07
4	4750	2212	3.79	86.72	13.28
6	3350	1748	2.99	89.71	10.29
8	2360	1180	2.02	91.73	8.27
12	1700	692	1.18	92.91	7.09
16	1180	612	1.05	93.96	6.04
20	850	427	0.73	94.69	5.31
30	600	373	0.64	95.33	4.67
40	425	331	0.57	95.90	4.10
50	300	341	0.58	96.48	3.52
70	212	299	0.51	96.99	3.01
100	150	397	0.68	97.67	2.33
140	106	222	0.38	98.05	1.95
200	75	272	0.47	98.52	1.48
270	53	187	0.32	98.84	1.16
400	38	128	0.22	99.06	0.94
PAN		551	0.94	100.00	0.00
Peso inicial (g)		58416	100		
K80 (µm)		18942.8			

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

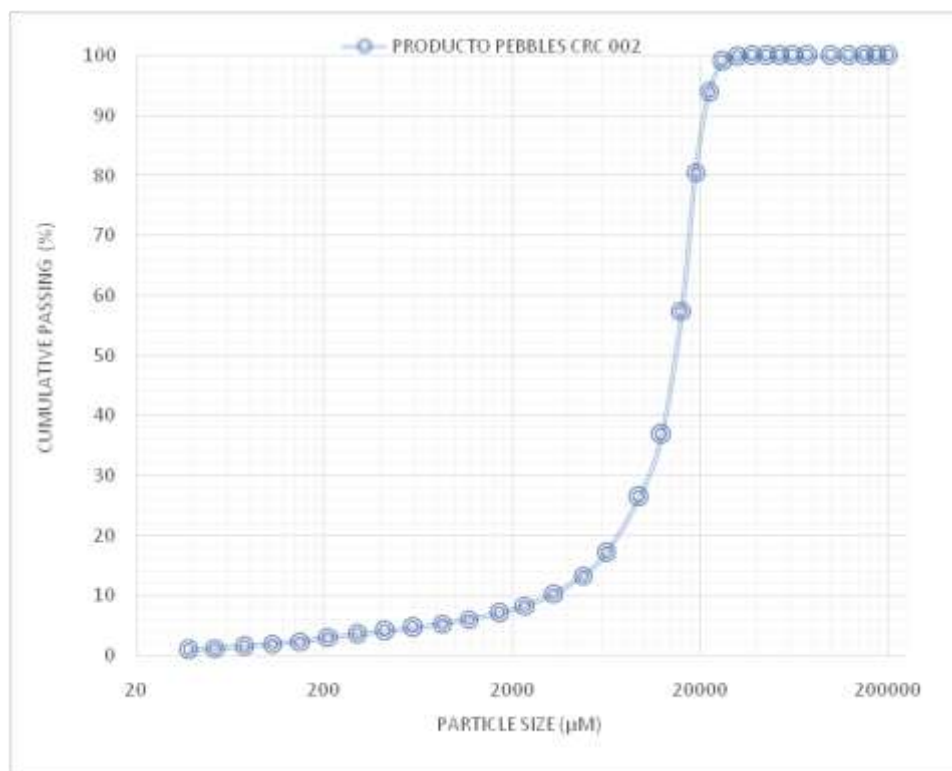


Figura 3.16: Distribución granulométrica producto de la chancadora CRC002.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 3.17: Chancadora CRC002 de Pebbles MP1000.

Fuente: Fotografía propia tomada de la chancadora de Pebbles 002.

Tabla 3.19: Muestreo producto de la chancadora CRC003

N° Malla	Abertura (µm)	Peso (g)	Peso (%)	% Acumulado retenido	% Acumulado pasante
8"	200000	0	0.00	0.00	100.00
7"	175000	0	0.00	0.00	100.00
6"	150000	0	0.00	0.00	100.00
5"	125000	0	0.00	0.00	100.00
4"	100000	0	0.00	0.00	100.00
3"	75000	0	0.00	0.00	100.00
2.5"	63000	0	0.00	0.00	100.00
2.12"	53000	0	0.00	0.00	100.00
1.75"	45000	0	0.00	0.00	100.00
1.5"	37500	0	0.00	0.00	100.00
1.25"	31500	0	0.00	0.00	100.00
1.06"	26500	258	0.43	0.43	99.57
7/8"	22400	1414	2.34	2.77	97.23
3/4"	19000	3633	6.02	8.79	91.21
5/8"	16000	8684	14.39	23.19	76.81
1/2"	12500	13870	22.99	46.18	53.82
3/8"	9500	6519	10.81	56.99	43.01
1/4"	6350	8019	13.29	70.28	29.72
4	4750	3591	5.95	76.23	23.77
6	3350	3117	5.17	81.40	18.60
8	2360	2321	3.85	85.25	14.75
12	1700	1400	2.32	87.57	12.43
16	1180	1321	2.19	89.76	10.24
20	850	900	1.49	91.25	8.75
30	600	790	1.31	92.56	7.44
40	425	660	1.09	93.65	6.35
50	300	640	1.06	94.71	5.29
70	212	512	0.85	95.56	4.44
100	150	803	1.33	96.89	3.11
140	106	153	0.25	97.15	2.85
200	75	370	0.61	97.76	2.24
270	53	294	0.49	98.25	1.75
400	38	216	0.36	98.60	1.40
PAN		842	1.40	100.00	0.00
Peso inicial (g)		60327	100		
K80 (µm)		16664.5			

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

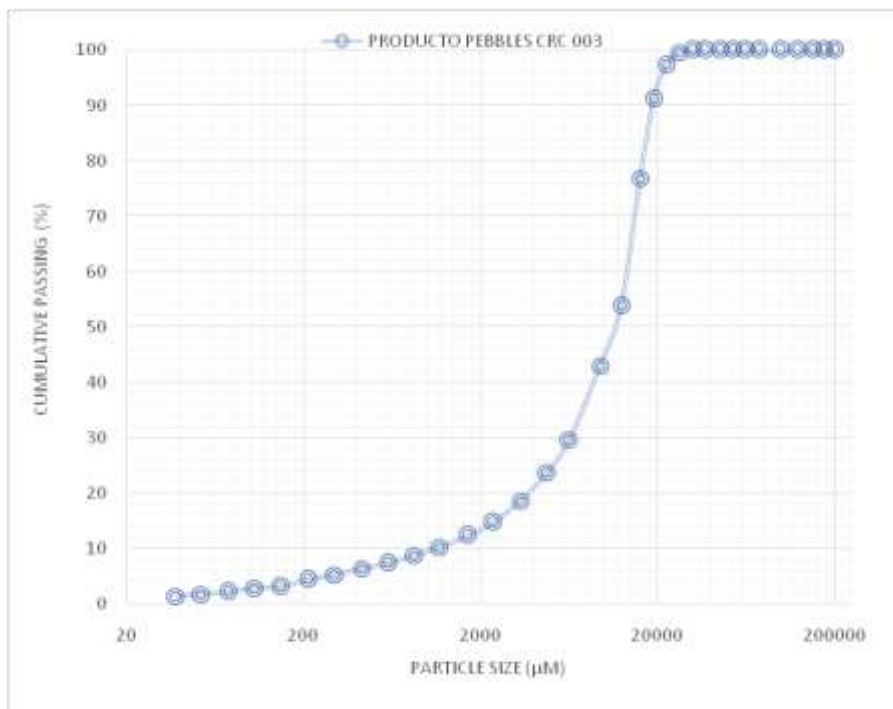


Figura 3.18: Distribución granulométrica producto de la chancadora CRC003

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 3.19: Chancadora CRC003 de Pebbles MP1000.

Fuente: Fotografía propia tomada de la chancadora de Pebbles 003.

Tabla 3.20: Muestreo por la faja CVB0015 y contraste con el Split

Hora	10:00 a. m.	15: 20 pm
Peso Total (kg)	11.08	11.01
Peso -1/2 plg(Kg)	6.85	6.98
% -1/2 plg(%)	61.82	63.40
%DCS (Split)	62%	59%

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 3.20: Control de Setting -1/2" por la faja CVB0015.

Fuente: Fotografía propia, Muestra Tomada en campo



Figura 3.21: Control de Setting por la faja CVB0015.

Fuente: Fotografía propia, Muestra Tomada en campo.

Tabla 3.21: Muestreo general del circuito de pebbles

Resumen de Resultados					
N°	Muestra	F ₈₀ , mm	Muestra	P ₈₀ , mm	Ratio Reducción
1	Alimento PEBBLES 100% PASANTE 1"	21.22	-	-	-
2	Alimento PEBBLES CRC 001	65.50	PRODUCTO PEBBLES CRC 001	19.70	3.32
3	Alimento PEBBLES CRC 002	65.46	PRODUCTO PEBBLES CRC 002	18.94	3.46
4	Alimento PEBBLES CRC 003	70.95	PRODUCTO PEBBLES CRC 003	16.66	4.26

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

Tabla 3.22: Muestreo del circuito de pebbles

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	GRANULOMETRÍA SONDAJE	ASPECTO FÍSICO	PESO RECEPCIÓN (Kg)	PESO SECO (Kg)	HUMEDAD (%)	OBSERVACIONES
1	ALIMENTO PEBBLES 100% PASANTE 1"	- 1.2 "	HUMEDO	28.15	27.88	0.97	Muestreado en 1 balde
2	ALIMENTO PEBBLES CRC 001	- 4"+ 1.2 "	HUMEDO	67.07	66.87	0.30	Muestreado en 2 baldes
3	ALIMENTO PEBBLES CRC 002	- 4"+ 1.2 "	HUMEDO	65.82	65.64	0.27	Muestreado en 2 baldes
4	ALIMENTO PEBBLES CRC 003	- 4"+ 1.2 "	HUMEDO	65.10	64.93	0.26	Muestreado en 2 baldes
5	PRODUCTO PEBBLES CRC 001	- 1.2 "	HUMEDO	57.75	57.18	1.00	Muestreado en 2 baldes
6	PRODUCTO PEBBLES CRC 002	- 1.2 "	HUMEDO	59.05	58.42	1.07	Muestreado en 2 baldes
7	PRODUCTO PEBBLES CRC 003	- 1.2 "	HUMEDO	61.00	60.33	1.10	Muestreado en 2 baldes
TOTAL				403.94	401.23		

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Chancado pebbles

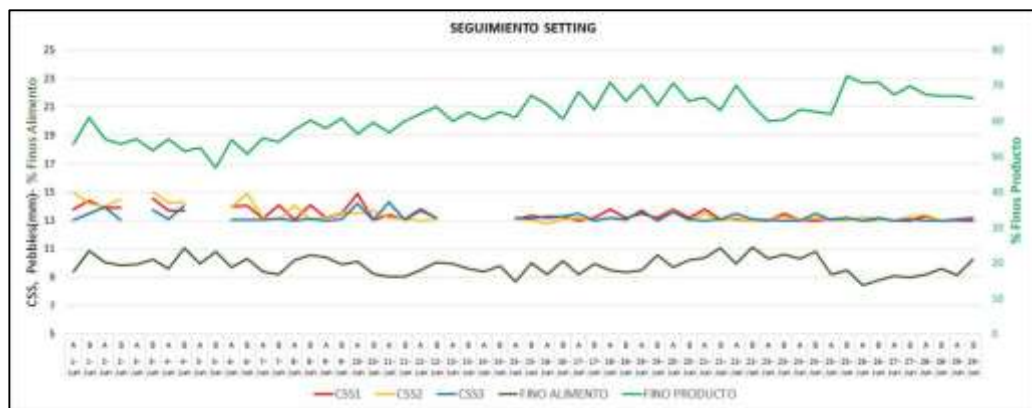


Figura 4.1: Seguimiento al cerrado set de chancadoras de Pebbles, y su efecto en la generación de finos -0.5”

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 4.2: Seguimiento del nivel de taza de las 3 chancadoras de Pebbles

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Operacionalmente es importante trabajar con tasas por encima del 35%, ya que generamos mejor producto de chancado, también cuidamos en forro de la chancadora evitando un desgaste anticipado de preferencia trabajar por encima del feed plate de cada chancadora.



Figura 4.3: Seguimiento de la potencia de las 3 chancadoras de Pebbles.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

En la figura 4.1 se observa que se viene realizando un control por turno del cerrado de set, para incrementar el % de finos.

- Actualmente las 3 chancadoras están con un CSS de 13 mm
- El % de finos del producto chancado se incrementa a partir del día 6 después del asentamiento apropiado cuidado la temperatura del buje de la chancadora y la Temperatura diferencial de la chancadora.

4.2. Análisis de tendencias

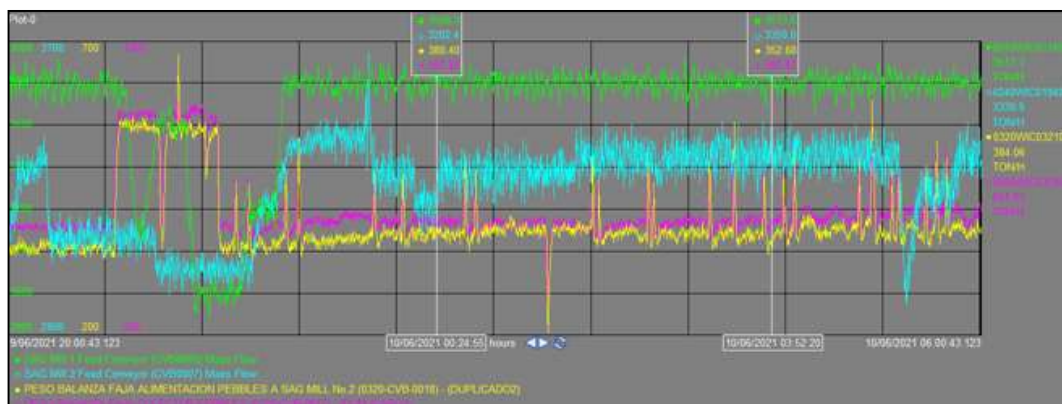


Figura 4.4: Pebbles compartido cuando el porcentaje de finos es superior al 31% -1”

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

El circuito de molienda normalmente se alimenta de mineral con granulometría por encima del 31% -1” y una competencia del mismo de 6.8 kw/tn, materiales que le da estabilidad a la molienda y podemos entregar un P_{80} a flotación de 280 micras promedio, para maximizar el Throughput a molienda se consideran estrategias operativas y estamos en constante oportunidades de mejora, ayudándonos también como operaciones con el PXP control experto de molienda que se alimenta del input del coordinador de sala de control.

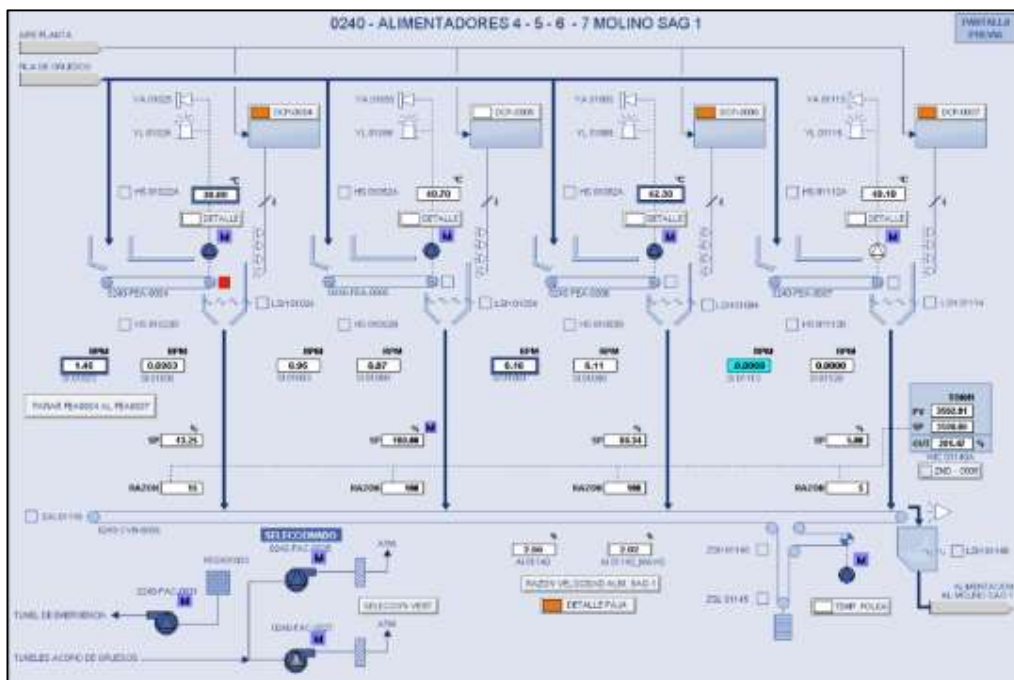


Figura 4.5: HMI de Control Room, Alimentadores 4-5-6-7 Molino SAG1.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

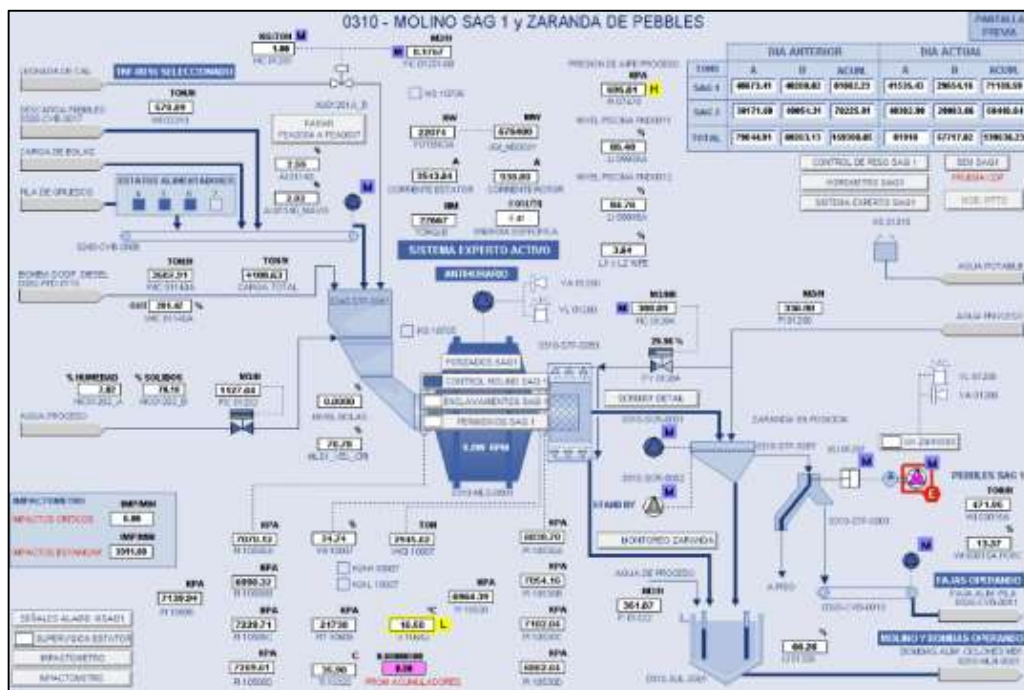


Figura 4.6: HMI de Control Room, Molino SAG1 y Zaranda de Pebbles

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

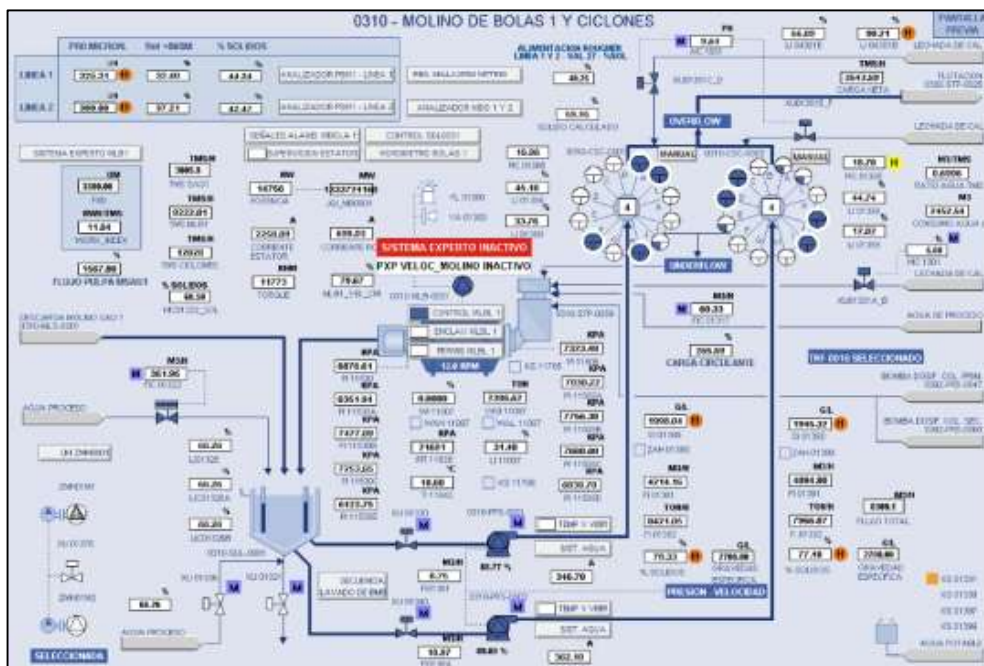


Figura 4.7: HMI de Control Room, Molino de Bolas 1 y Ciclones.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

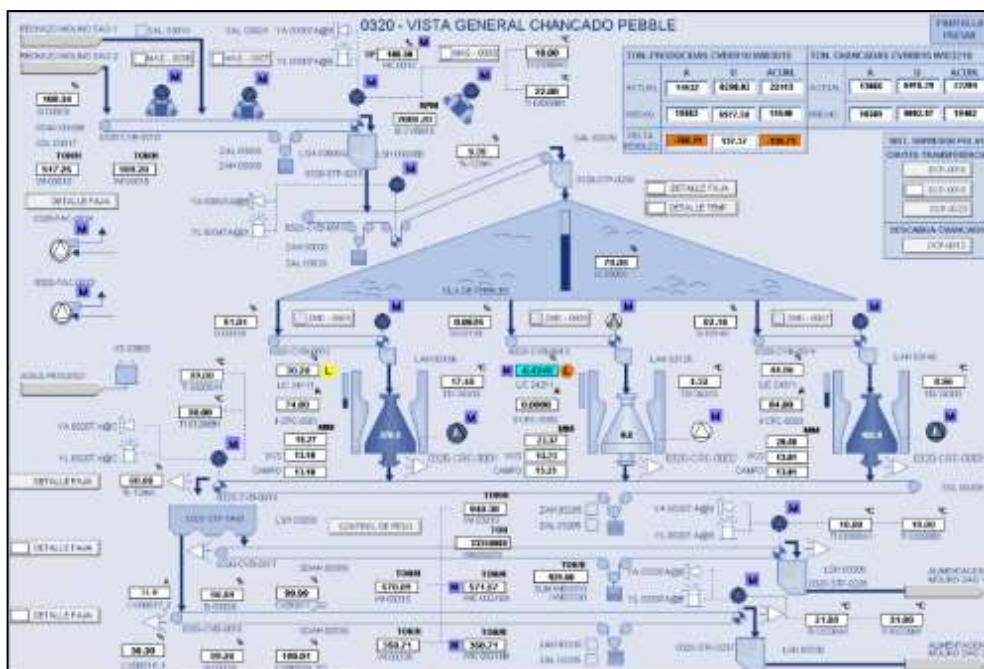


Figura 4.8: HMI de Control Room, Vista general chancado de Pebbles.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

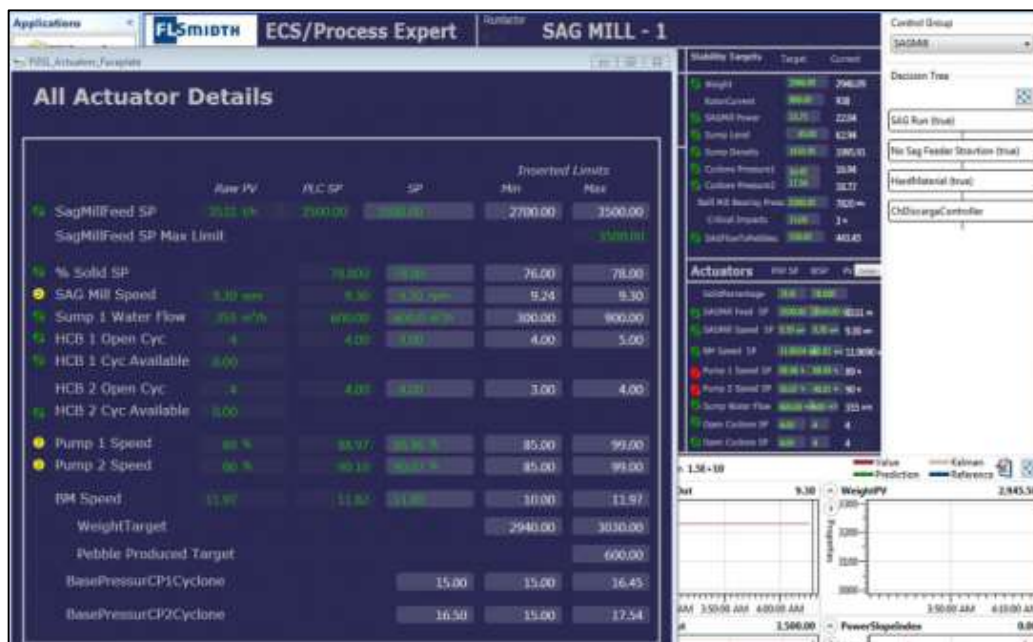


Figura 4.9: Control experto PXP, Circuito de Molienda y Pebbles.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Cuando el material es complicado este control experto tiene dificultades en controlar el sistema es ahí que se estabiliza primero el circuito limitamos nuestros parámetros como peso del molino, tonelaje del molino, porcentaje de sólidos velocidad del SAG y potencia del SAG maximizando lo más que podamos y colocamos el experto para mantener la operación, el reto para este material complicado está en optimizar el circuito de molienda empleando el circuito de pebbles, razón por la cual desde Control Room nos ha permitido aumentar nuestro Throughput en Molienda SAG.

4.3. Análisis de tendencias con material problema

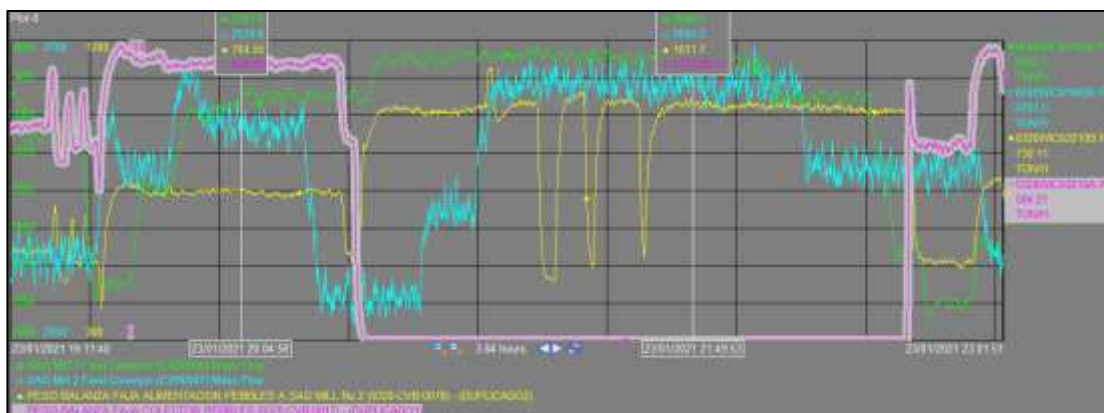


Figura 4.10: Derivación de todo el Pebbles hacia la línea 002 de Molienda.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

En las fajas de alimentación de Pebbles, CVB0017, CVB0018 derivamos todo el pebbles hacia la línea 002 de molienda con el fin de aprovechar el material relativamente fino que entraba hacia la línea 001, como apreciamos en la figura el Throughput en la línea 001 incremento de 3287 Tn/hr en 3506 Tn/hr un delta positivo de 219 Tn/hr, la línea 002 se incrementó de 3529 Tn/hr en 3604 Tn/hr un delta positivo de 75 Tn/hr. Esto sin duda nos genera ganancia en molienda ya que aparte de ganar pebbles chancado, generamos un mejor Throughput en Molienda, a pesar de que la línea 002 tiene menor contenido de finos y material competente.

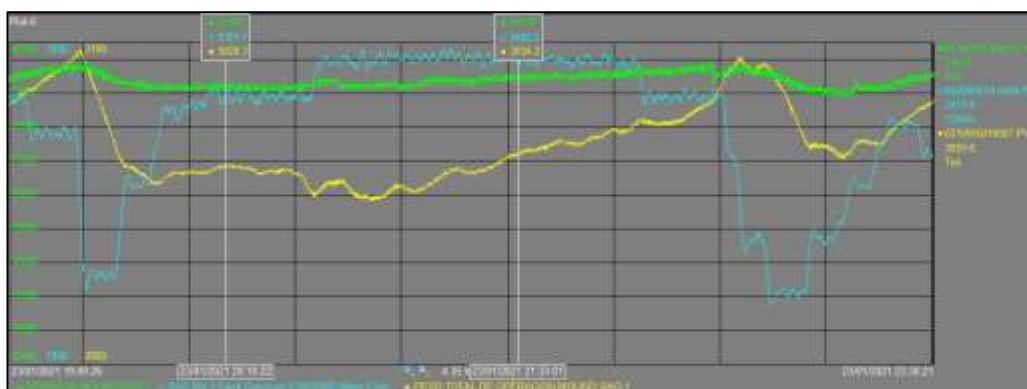


Figura 4.11: Incremento de Tonelaje en la línea 001, sin afectar la potencia del SAG1.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

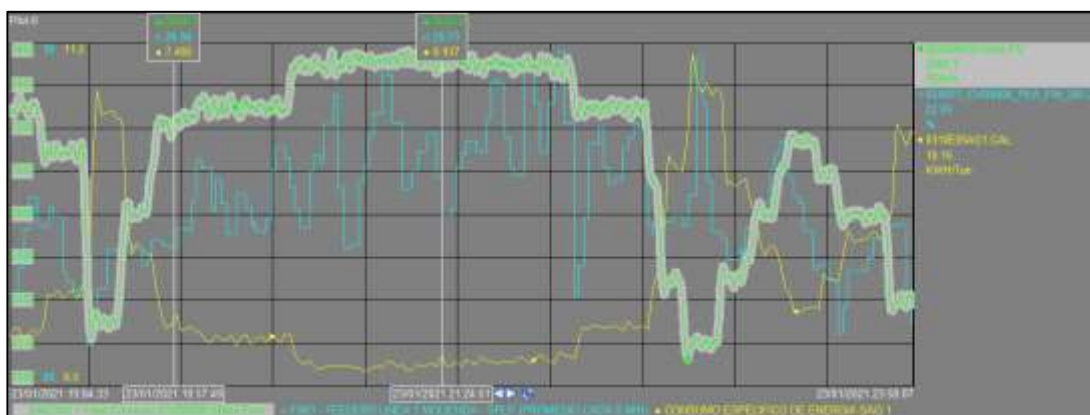


Figura 4.12: Incremento de tonelaje en la línea 001, aprovechando el porcentaje de finos al SAG y la baja competencia del material.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

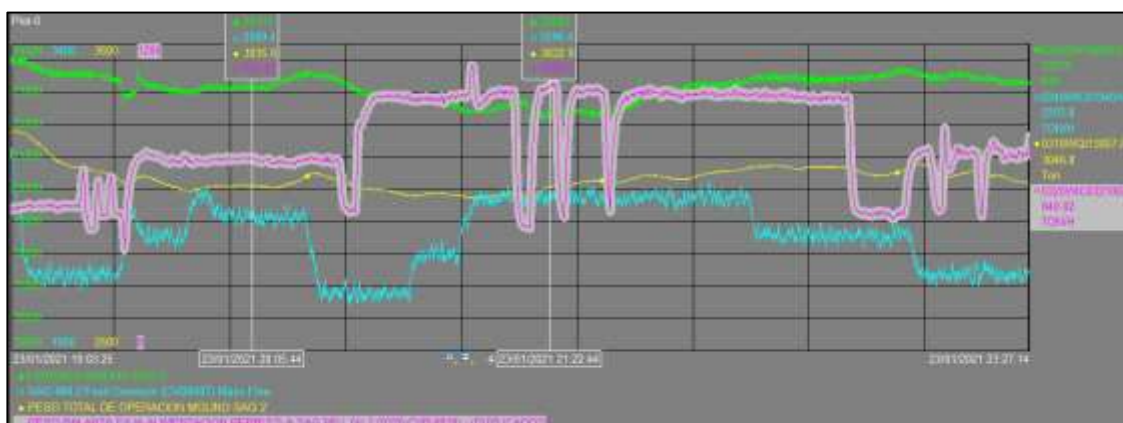


Figura 4.13: Derivación de todo el pebbles hacia la línea 002

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Al derivar todo el pebbles hacia la línea 002, vemos que el SAG 2 se alivia y se puede ganar tonelaje fresco.

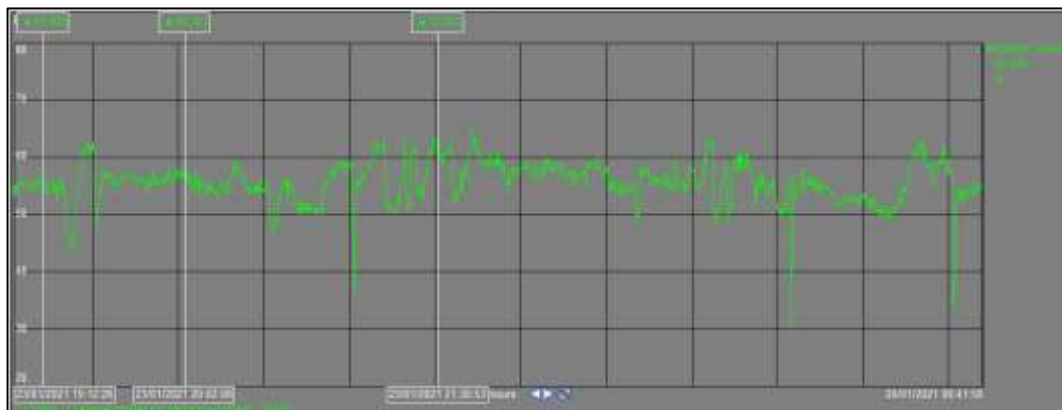


Figura 4.14: Setting en chancado de Pebbles.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Todo este cambio es posible también si ajustamos bien el setting en chancado de pebbles, así podemos mejorar el porcentaje de los finos de 53% a 63% -1/2”.

4.4. Derivación de Pebbles Línea 001

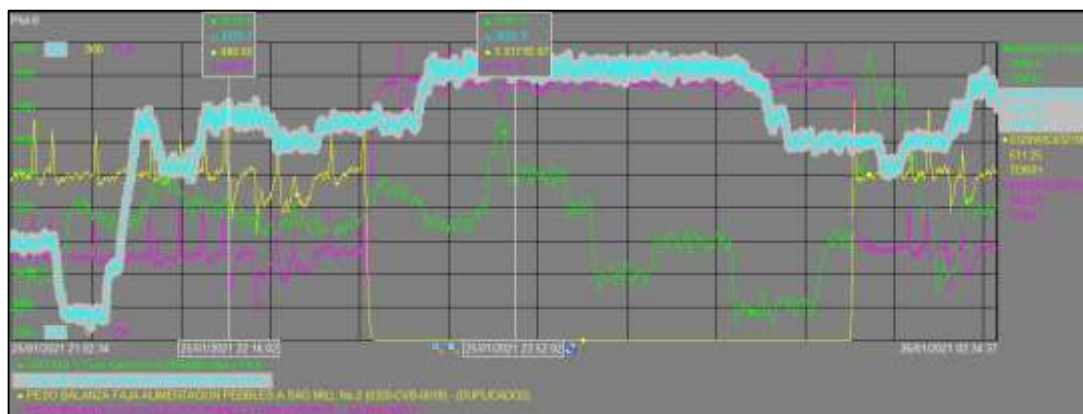


Figura 4.15: Derivación de todo el pebbles hacia la línea 001 de molienda

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

El Throughput en la línea 002 incremento de 3321 Tn/hr en 3525 Tn/hr un delta positivo de 204 Tn/hr, la línea 001 se incrementó de 2576 Tn/hr en 2691 Tn/hr un delta positivo de 115 Tn/hr. Esto sin duda mejora la molienda ya que aparte de ganar

pebbles chancado, generamos un mejor Throughput en molienda, a pesar de que la línea 001 tiene menor contenido de finos y material competente.

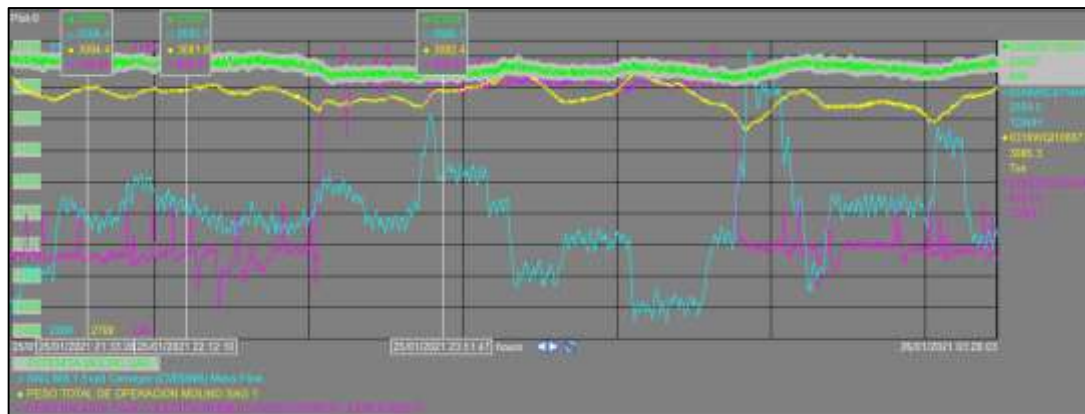


Figura 4.16: Derivación de todo el pebbles hacia la línea 001.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Al derivar todo el pebbles hacia la línea 001, vemos que el SAG 1 se alivia y se puede ganar tonelaje fresco y en el peor de los casos mantenemos, la ganancia ya estaría en el SAG 2.

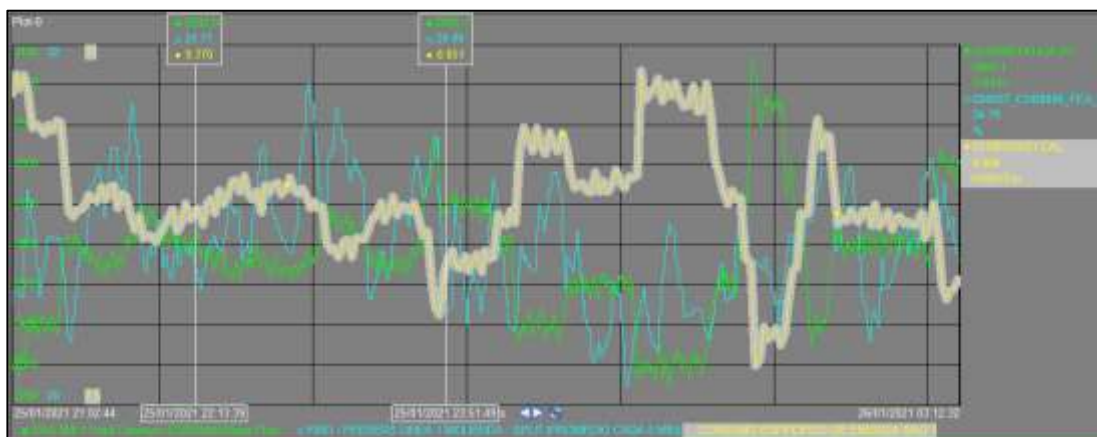


Figura 4.17: Incremento del tonelaje en la línea 001

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021)

El incremento del tonelaje en la línea 001 es ligeramente, teniendo competencia alta del material (9.370 KWH/T) y bajo porcentaje de fino (24% -1”).

Lo importante es apreciar que el consumo de la energía específica (CEE) también baja a (8.851 KWH/T) esto debido a que el molino necesita material Fino que lo proporciona el pebbles chancado.

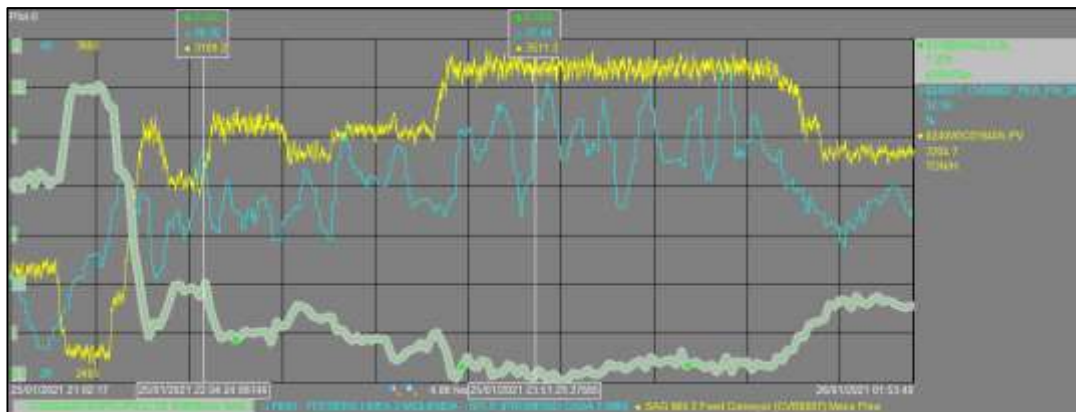


Figura 4.18: Incremento del tonelaje en la línea 002.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

El incremento de tonelaje en la línea 002 de molienda, es debido al porcentaje de finos al SAG 2 y la baja Competencia del Material.

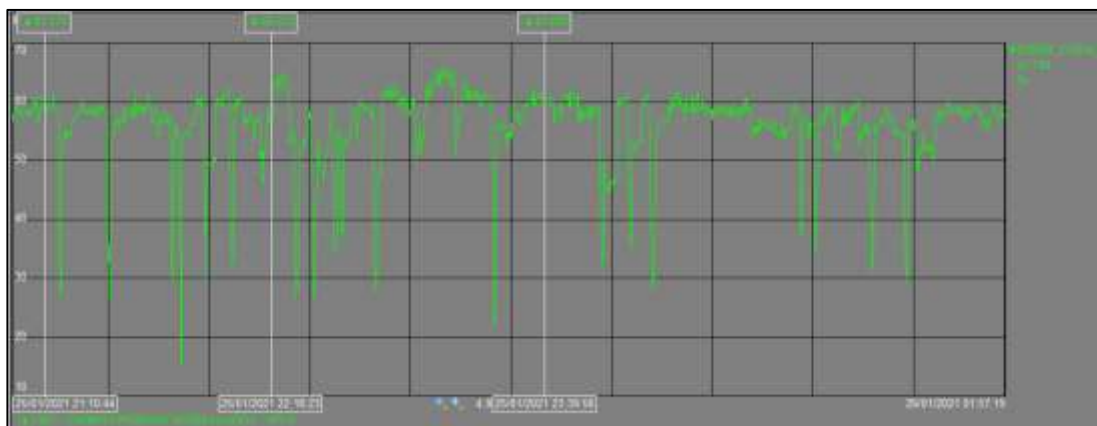


Figura 4.19: Setting en chancado de Pebbles

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Todo este cambio es posible si ajustamos bien el setting en chancado de pebbles, así podemos mejorar el porcentaje manteniendo por encima del 61% -1/2”.

4.5. Derivación de Pebbles Línea 002

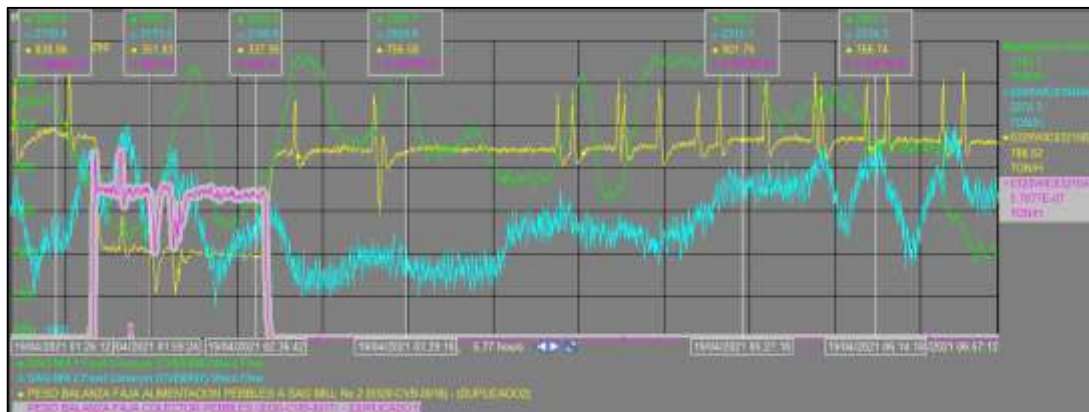


Figura 4.20: Derivación de todo el Pebbles hacia la línea 002 de Molienda.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Una línea tenía menor material competente y se tenía que aprovechar por ende se derivó todo el pebbles hacia esa línea 002 y ganar fresca en la otra línea 001, el throughput en la línea 002 incremento de 2190 Tn/hr en 2374 Tn/hr un delta positivo de 184 Tn/hr ya que el pebbles ayuda más a esta por tener material muy competente, en la línea 001 se incrementó considerablemente de 2650 Tn/hr en 3291 Tn/hr un delta positivo de 641 Tn/hr.

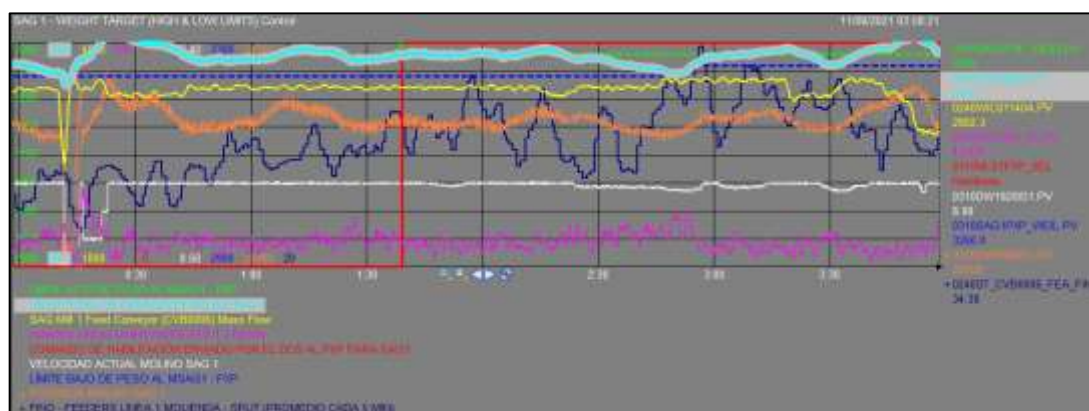


Figura 4.21: Tendencia PI, rangos de peso y activación del PXP para el SAG 001

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021)

Como se puede apreciar en esta tendencia se trata de estabilizar el peso del SAG 001, una vez estabilizado se puede colocar el PXP sistema experto para que lo pueda controlar en automático, es necesario colocar un rango de peso es decir un límite máximo y mínimo que garantiza trabajar bien para eso se hace una evaluación previa del sistema, recordar que es más fácil para el experto estabilizar con un material con buen porcentaje de finos.

4.6. Estabilidad de ambas líneas de Molienda

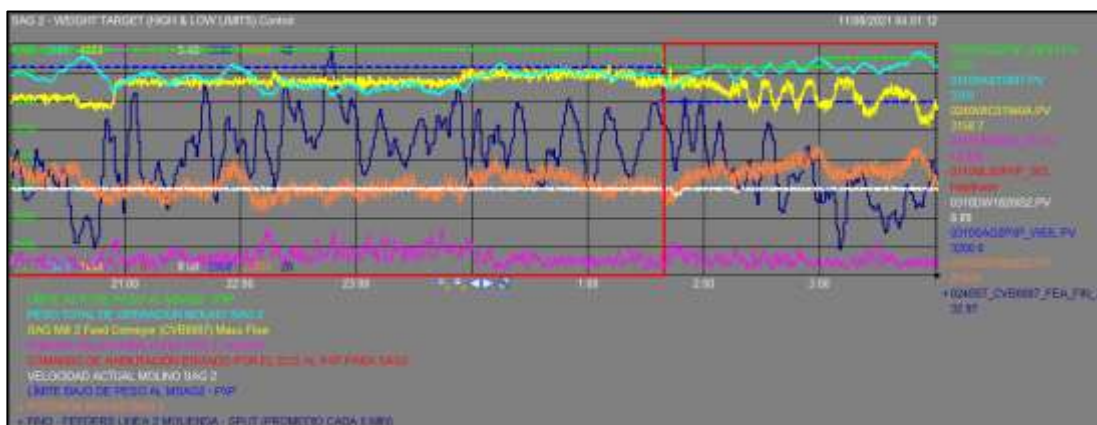


Figura 4.22: Tendencia PI, rangos de peso y activación del PXP para el SAG 002

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Se puede apreciar en esta tendencia del SAG 002, que por tener un material con menos porcentaje de finos el sistema experto se vuelve muy inestable se puede apreciar en el tonelaje (amarillo), la razón principal es la variabilidad en su porcentaje de finos y competencia.

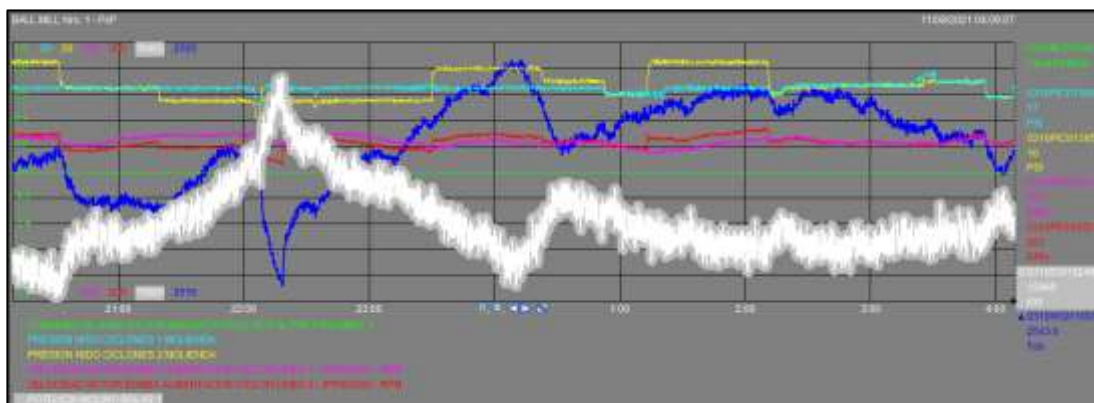


Figura 4.23: Tendencia PI, estabilidad de la potencia en el molino de bolas 001

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

La tendencia para el molino de bolas 001, se debe siempre mantener una potencia estable ya que un decrecimiento de este y un crecimiento del peso del molino de bolas generaría una sobrecarga del Molino posteriormente una mala clasificación de ciclones y arenamiento de celdas de flotación, más aun al trabajar con todo el pebbles derivado a una línea o trabajar con 3 Pebbles el control de este parámetro debe ser estrictamente monitoreado.

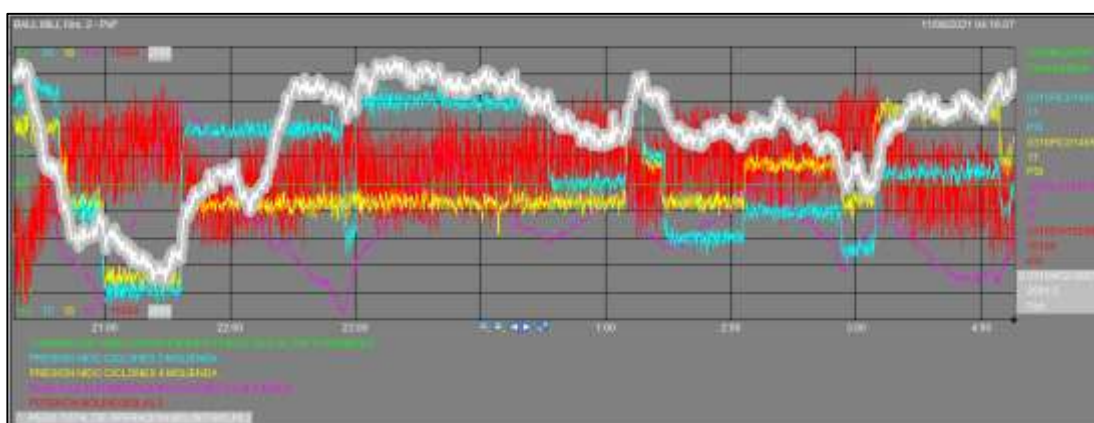


Figura 4.24: Tendencia PI, estabilidad de la potencia en el molino de bolas 002

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

La tendencia para el Molino de Bolas 002, al ver ligera tendencia al subir el Peso y caer la potencia ya deberíamos pensar que acción Tomar, en principio al trabajar con

pebbles se podría parar una chancadora, pero por que pasa esta ligera sobrecarga una de las razones probables podría ser que el material fresco está cambiando es decir su Work index aumenta haciendo trabajar más al molino de Bolas por esa Razon aliviamos el sistema parando una chancadora para luego restringir un poco de Tonaje fresco hasta que pase el material competente.

4.7. Análisis de tendencia con carga Neta a Flotación.

Caso 1: Operación estable con pebbles compartido y porcentaje de finos normal a ambas líneas de molienda SAG.

En la figura 4.25 se aprecia que existe buena cantidad de finos en ambas líneas de molienda por esa razón el pebbles está compartido en ambas líneas, vemos también que al aumentar la carga fresca a molienda incrementa también la carga Neta a flotación, podemos decir que se aprovecha toda la capacidad de Molienda del SAG y Molinos de Bolas.

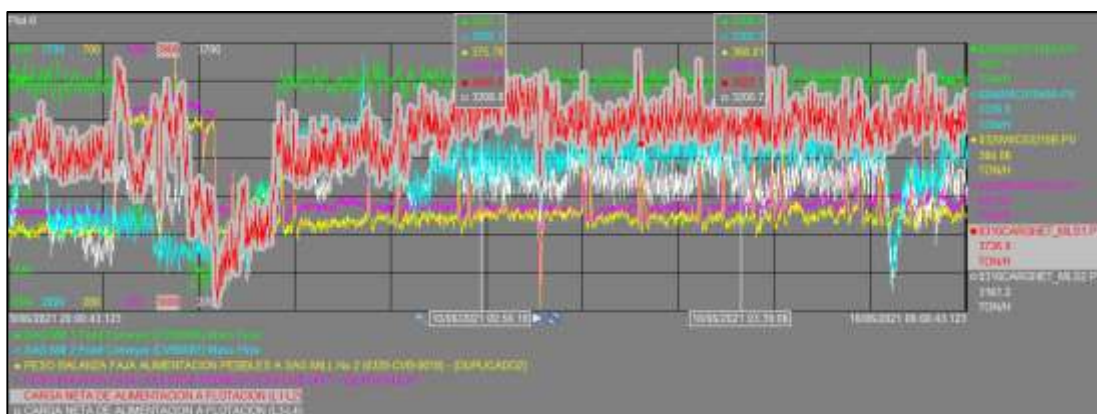


Figura 4.25: Pebbles compartido cuando el porcentaje de finos es superior al 31% -1plg.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

Caso 2 (5): Operación con material fino en la línea 001 y material grueso y competente en la línea 002.

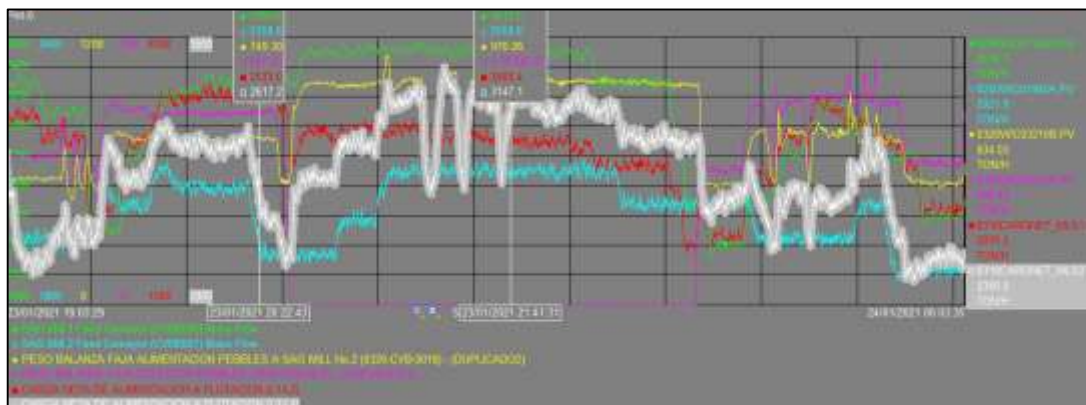


Figura 4.26: Derivación de Todo el pebbles hacia la línea 002 de Molienda

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

En la figura 4.26 se aprecia que existe buena cantidad de finos en la línea 001 y material grueso y competente en la línea 002 por esa razón derivamos todo el pebbles hacia la línea 002, ganando fresca en la línea 001 de 3300 a 3500 para todo el sistema pasamos de 5500 TN/hr a 6000 TN/hr frescas en promedio.

Vemos que la carga neta a flotación aumenta en la línea 002 de 2600 TMS/hr a 3147 TMS/hr, para todo el sistema aumenta 6150 TMS/hr a 6250 TMS/hr.

Lo que también podemos apreciar es que maximizamos la capacidad de Molienda de ambos molinos SAGs y de lo aliviado que tenemos al Molino de Bolas 002 por pasar poco fresca pasa a maximizar esa capacidad al recibir pebbles y aumentar la Carga neta a flotación.

Caso 3 (4): Operación con material fino en la línea 002 y material grueso y competente en la línea 001

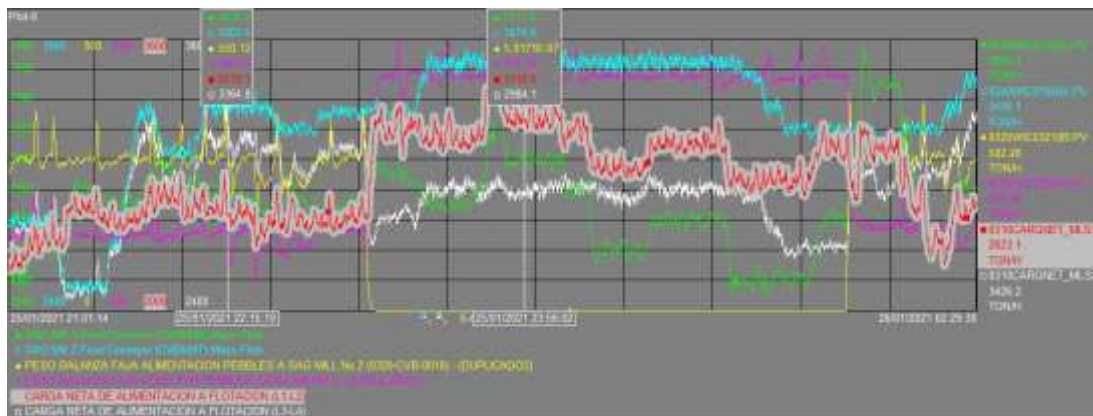


Figura 4.27: Derivación de Todo el pebbles hacia la línea 001 de Molienda

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

En la figura 4.27 se aprecia que existe buena cantidad de finos en la línea 002 y material grueso y competente en la línea 001 por esa razón derivamos todo el pebbles hacia la línea 001, ganando fresca en la línea 002 de 3303 a 3474 para todo el sistema pasamos de 5931 TN/hr a 6193 TN/hr frescas en promedio.

Vemos también que la carga neta a flotación aumenta en la línea 001 de 2578 TMS/hr a 3134 TMS/hr, para todo el sistema aumenta 5942 TMS/hr a 6118 TMS/hr.

También podemos apreciar es que maximizamos la capacidad de Molienda de ambos molinos SAGs y de lo aliviado que tenemos al Molino de Bolas 001 por pasar poco fresca pasa a maximizar esa capacidad al recibir pebbles y aumentar la carga neta a flotación.

Caso 6,7,8,9: Evaluación carga fresca versus carga neta en molienda para material competente empleando pebbles.

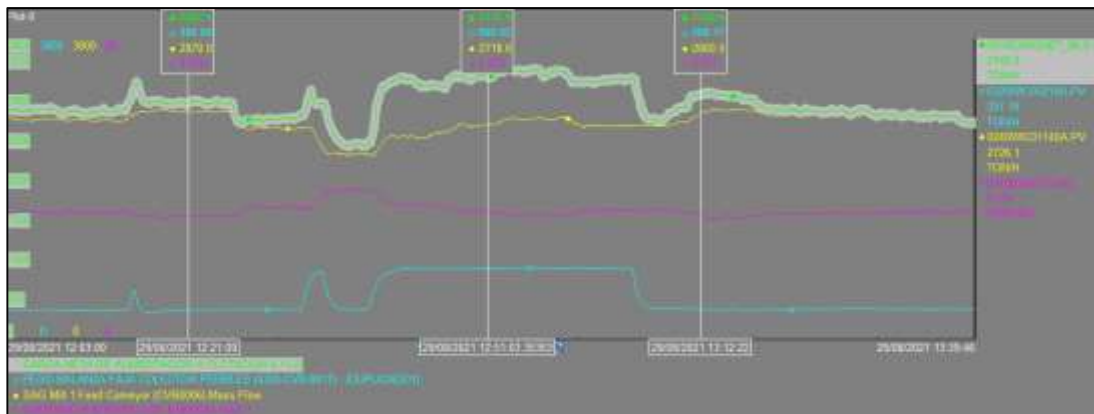


Figura 4.28: Evaluación Carga fresca VS Carga Neta en Molienda para Materiales altamente competente

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

La figura 4.28 nos muestra, la prueba que se realizó en la línea 1 de molienda, en el cual podemos observar, que inicialmente se tenía una carga fresca de 2870 TN/hr, con un ingreso de pebbles al SAG 1 de 386 TN/hr, en ese momento se tenía arrancado solo una chancadora de pebbles y derivado a esa línea.

Posteriormente se arrancó una segunda chancadora de pebbles incrementando el ingreso de pebbles al SAG 1 a un tonelaje de 900 TN/hr. Esto produjo la disminución de carga fresca a unos 2718 TN/hr, pero a la vez se observó que se incrementó la carga neta, de estar en 2987 TN/Hr se logró llegar a 3300 TN/Hr, esto nos demostró que realizando esta estrategia se logra optimizar la carga neta enviada a flotación en aproximadamente un 110.4 %, pero sacrificando tonelaje fresco en un 94.4%.

Lo que también podemos apreciar es que maximizamos la capacidad de Molienda de ambos molinos SAGs y de lo aliviado que tenemos al Molino de

Bolas 001 por pasar poco fresca pasa a maximizar esa capacidad al recibir pebbles y aumentar la Carga neta a flotación.

Condiciones	SAG 001	SAG 002	Pebbles Derivacion		Tonelaje fresco	Carga Neto a Flotacion	Contenido Metalico de Cu.	Max Beneficio
			Faja 017	Faja 018				
	Material Fino	F						
	Material Grueso	G						
	Material Competente	C						
Caso 1	F	F	I	I	Sube	Sube	Aumenta	Si
Caso 2	F	G/C	0	II	sube	sube	Aumenta	Si
Caso 3	G/C	F	II	0	sube	sube	Aumenta	Si
Caso 4	G/C	G	II	0	sube	sube	Aumenta	Si
Caso 5	G	G/C	0	II	sube	sube	Aumenta	Si
Caso 6	G/C	G/C	I	0	sube un poco	mantiene	Mantiene	No
Caso 7	G/C	G/C	II	0	baja un poco	sube	Aumenta	Si
Caso 8	G/C	G/C	I	I	mantiene	Sube	Aumenta	Si
Caso 9	G/C	G/C	11/2	11/2	mantiene o baja un poco	Sube considerablemente	Aumenta	Si

Figura 4.29: Resumen Operativo con pebbles

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

4.8. Cálculo del JC ideal y peso operativo de trabajo óptimo

4.8.1. Crash stop del Molino SAG 001

- Caída de tonelaje a las 6:40 por cambio de mineral, se logra estabilizar tonelajes entre 2920 y 2915, durante 25 minutos (6:58 am a 7:22 am).
- Se mantiene pesos en el SAG 001 entre 3280 y 3291 durante 25 minutos (6:58 am a 7:22 am)
- El Molino SAG MLS-001 para a las 07:22 Hrs con un peso de 3291.4Tn y 22371Kw.

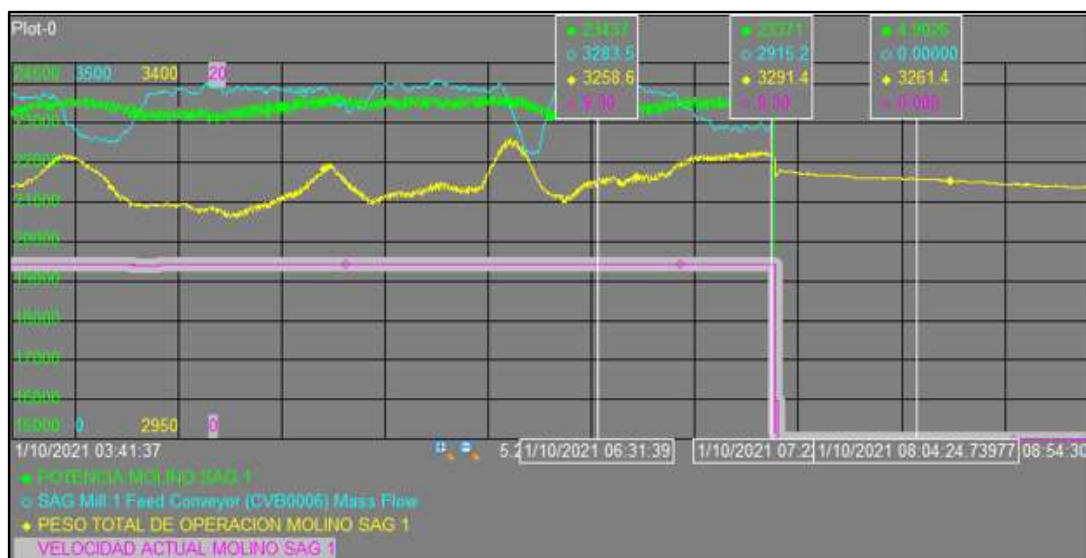


Figura 4.30: Crash stop del Molino SAG 001, detención intempestiva.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

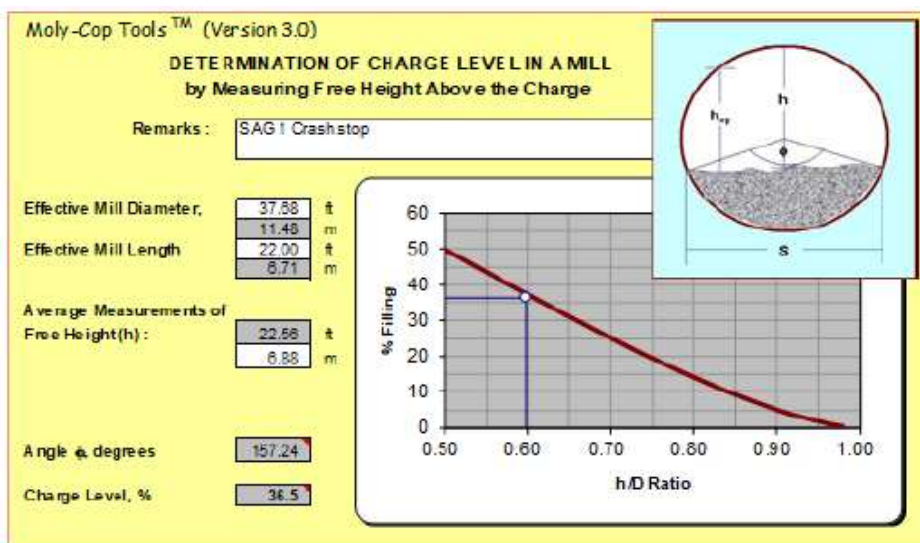


Figura 4.31: El nivel de carga (J_c) calculado ascendió a 36.5%

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 4.32: Nivel de carga llega a la altura del Pulp Discharge

Fuente: Elaboración Propia, Fotografía tomada del interior del Molino SAG (2021).

4.8.2. Grind out del Molino SAG 001

- Se inicia a las 9:30 am y se finaliza a las 10:16 am, el Molino SAG MLS 001 se detiene con un peso de **2780 Tn.**

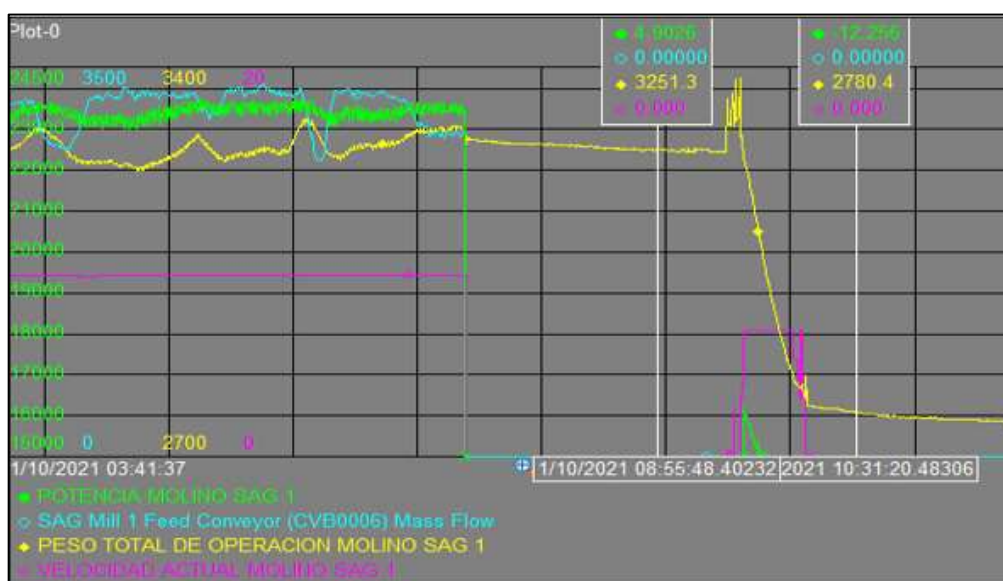


Figura 4.33: Grind out del Molino SAG 001, para calcular el Nivel de Bolas

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

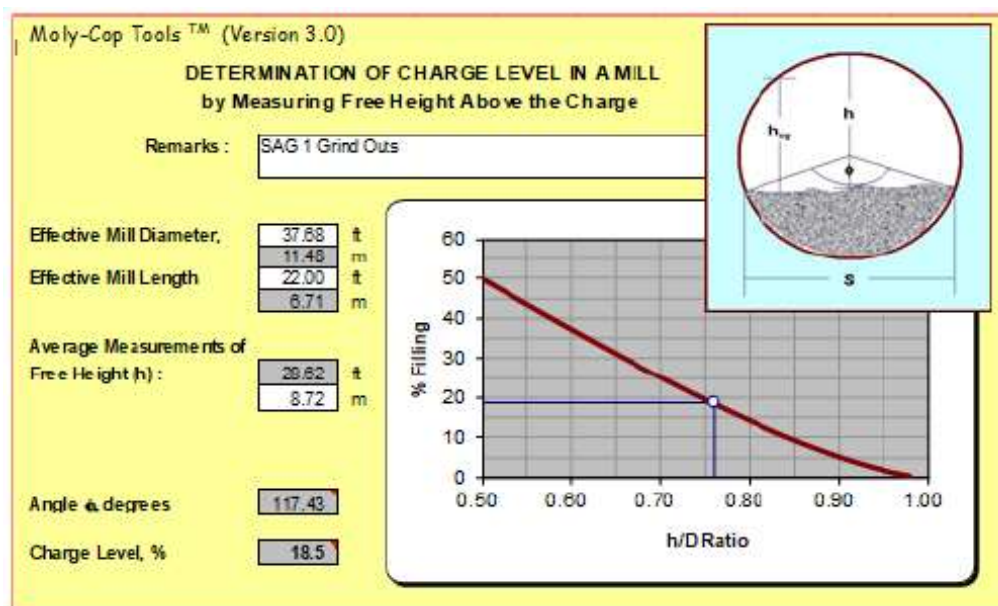


Figura 4.34: El nivel de Bolas (J_b) calculado ascendió a 18.5%

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 4.35: El nivel de bolas por encima del middle liner

Fuente: Elaboración Propia, Fotografía tomada del interior del Molino SAG (2021).

4.8.3. Crash stop del Molino SAG 002

- Se mantiene pesos en el SAG 002 entre 3210 y 3222 durante 30 minutos (7:12 am a 7.42min)
- El Molino SAG MLS-002 para a las 07:42 Hrs con un peso de 3221.4 Tn y 22868 Kw.

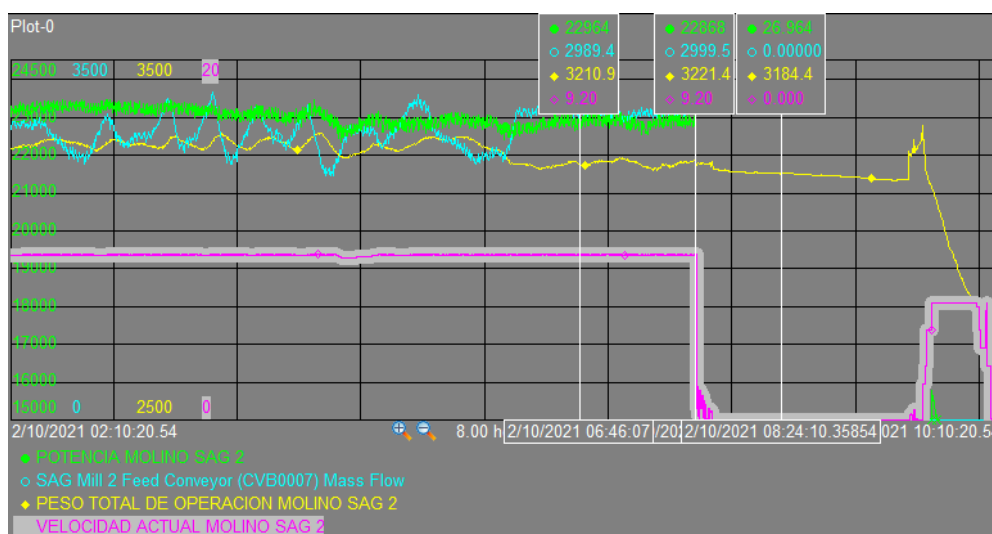


Figura 4.36: Crash stop del Molino SAG 002, detención intempestiva

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

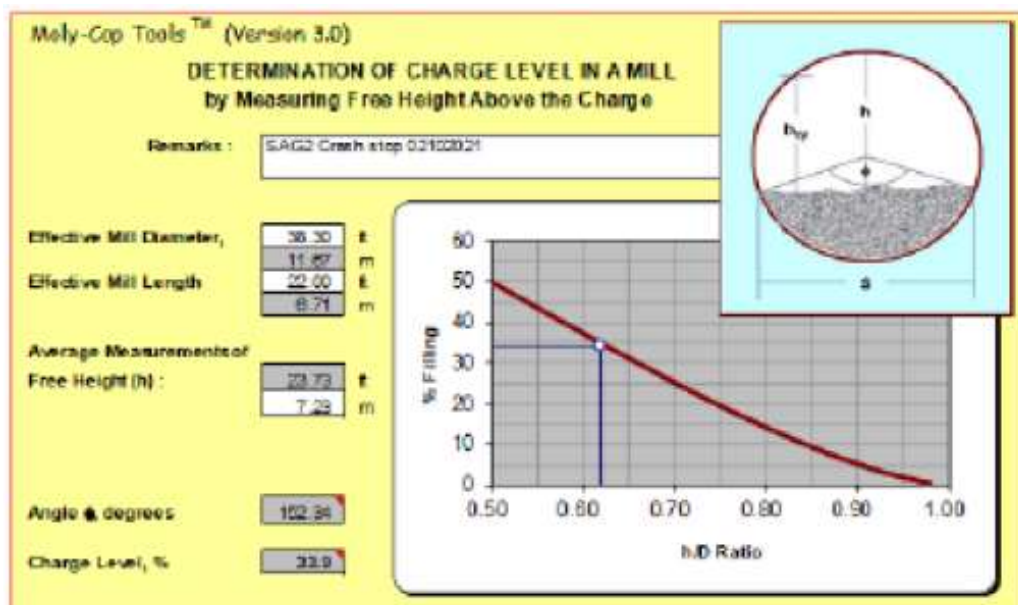


Figura 4.37: El nivel de carga (J_c) calculado ascendió a 33.9%

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).



Figura 4.38: El nivel de carga por debajo del Pulp Discharge
Fuente: Elaboración Propia, Fotografía tomada del interior del Molino SAG (2021).

4.8.4. Grind out del Molino SAG 002

- Se inicia a las 9:30 am y se finaliza a las 10:10 am, el Molino SAG MLS 002 se detiene con un peso de 2801 Tn.

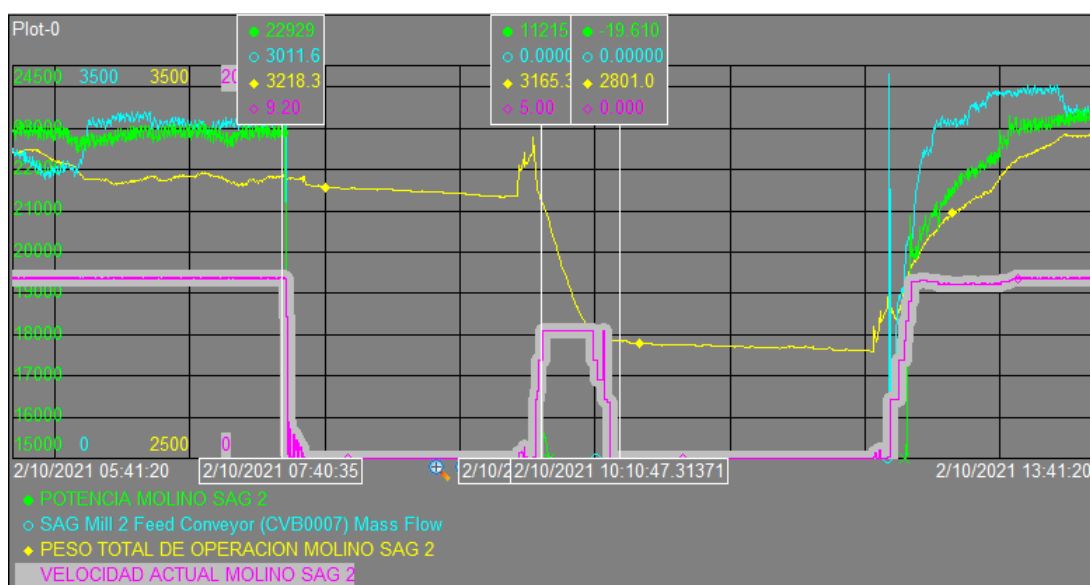


Figura 4.39: Grind out del Molino SAG 001 para calcular el nivel de bolas
Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

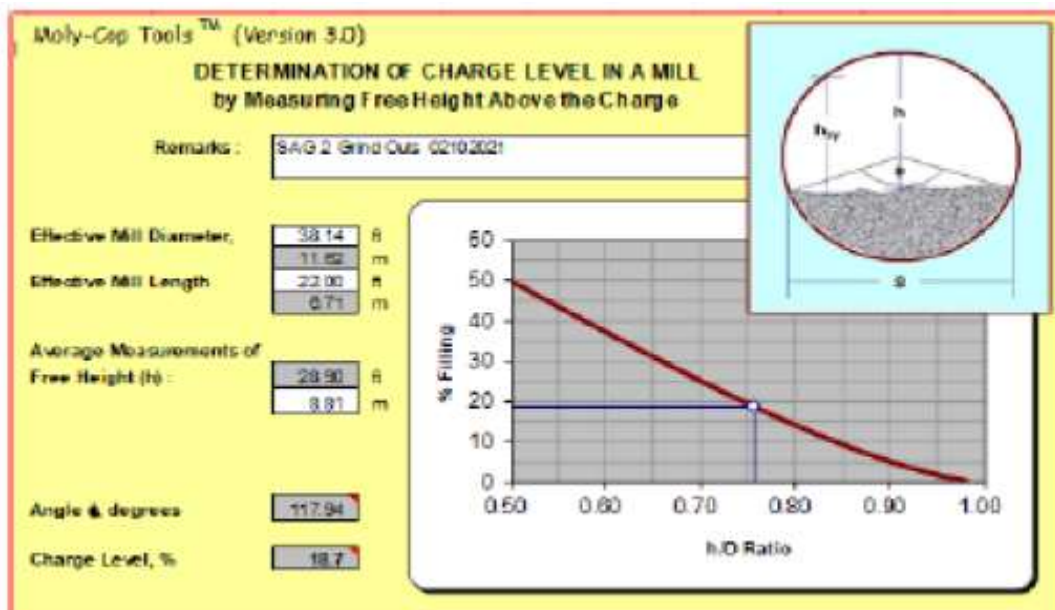


Figura 4.40: El nivel de Bolas (J_b) calculado ascendió a 18.7%

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Laboratorio (2021).

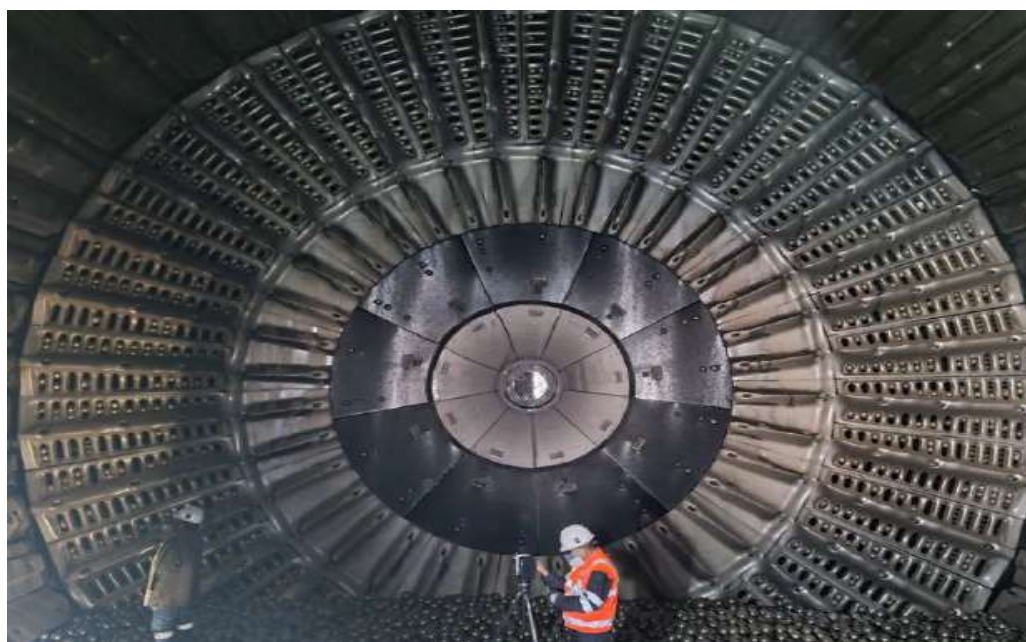


Figura 4.41: El nivel de bolas muy parecido al Molino SAG 001.

Fuente: Elaboración Propia, Fotografía tomada del interior del Molino SAG (2021).

4.8.5. Determinación del peso ideal de trabajo de los molinos SAGs.

- Teniendo los datos de Crash stop y Grind out, al igual que los pesos correspondientes podemos determinar un peso adecuado para JC deseado y para la molienda SAG siempre se espera JC (30% y 32%) esto va depender mucho también del Material fresco a tratar.



Figura 4.42: Cálculo del peso de trabajo de Ambos Molinos SAGs

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de laboratorio y Operaciones Planta (2021).

- Con este peso de trabajo encontrado se aprecia mayor estabilidad en el Molino SAG 001 y ya no se aprecia empachado, generando una mejor molienda, y nos permite aplicar la estrategia de derivar el pebbles para mejora el Throughput del Molino SAG01.

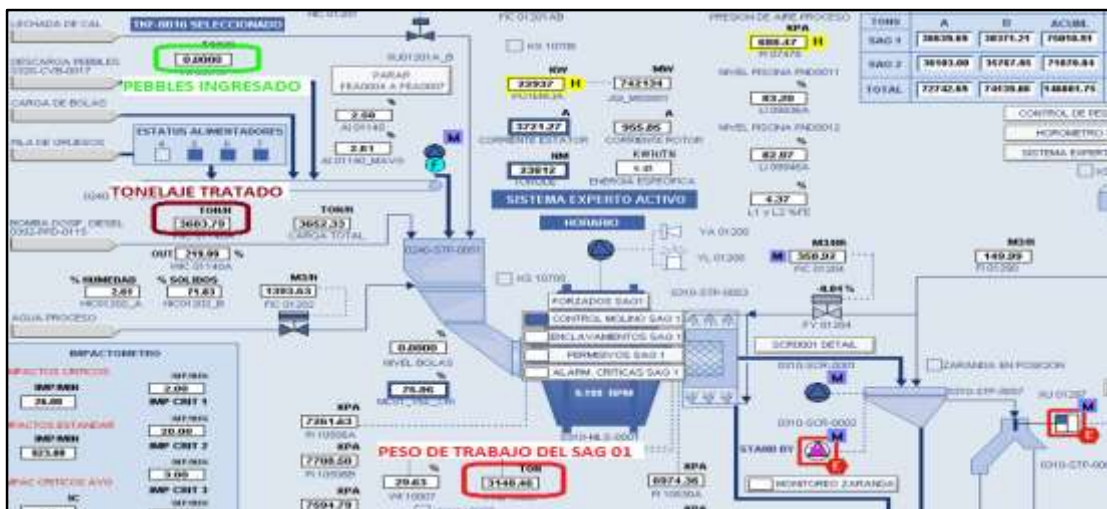


Figura 4.43: Estabilidad del SAG 01 a un peso adecuado.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

- Con este peso de trabajo encontrado se aprecia mayor estabilidad en el Molino SAG 002 y ya no se aprecia empachado, sin embargo, al derivar todo el pebbles a esta línea que tiene material competente estamos estabilizándolo y ganado Throughput en el circuito de Molienda en General.

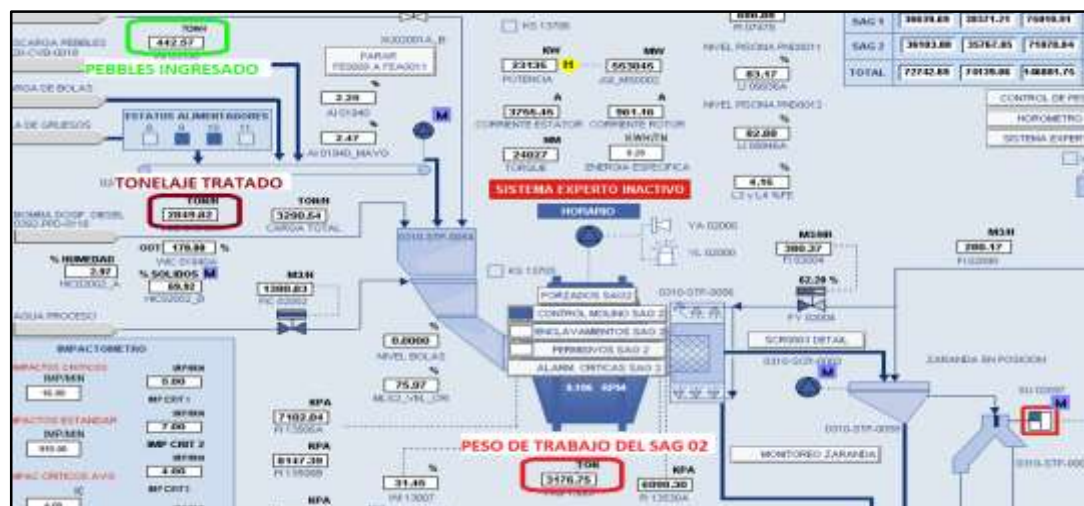


Figura 4.44: Estabilidad y mejora el Throughput del Molino SAG 02.

Fuente: Elaboración Propia con Datos obtenidos de Operaciones Planta (2021).

CONCLUSIONES

1. Se concluye de la figura 2.7, figura 4.10 y figura 4.20 que al derivar el pebbles que representa un 15 a 20% de la carga fresca se incrementa el throughput al molino SAG que tiene menor material grueso y competente reemplazando con material fresco.
2. También se concluye de la figura 4.12 que Mejoramos el rendimiento del Molino con material mas fino ya que podemos utilizar mejor su potencia disponible ganando tonelaje, asimismo Su consumo de energía especifica al recibir mas fino se alivia
3. Se concluye de la figura 4.16 y figura 4.17 que el molino que posee material muy competente y grueso al derivarle pebbles chancado alivia sus condiciones operativas como potencia de trabajo y el consumo de energía especifica (CEE).
4. Al momento de aplicar esta estrategia se tiene que evaluar bien las condiciones y las características del mineral apreciar tabla 3.1, tabla 3.2, tabla

3.3 y tabla 3.4 , ya que sabemos que en nuestra planta el tipo de mineral es variable.

5. El pebbles amortigua los impactos críticos como se visualiza en la figura 2.5 generando mayor estabilidad al Molino SAG y cuidando las componentes internas del Molino SAG, como lifter altos y lifter bajos, parrillas del molino y pernos de sujeción de los liners.
6. Se concluye de la figura 4.29 que al trabajar con Pebbles siempre se va a incrementar la carga neta a flotación por ende incrementamos Contenido metálico como producción Final.
7. Al emplear Pebbles debemos controlar la potencia en el Molino de bolas de 14200 Kw a fin de no sobrecargar el sistema y provocar arenamientos aguas abajo como se aprecia en la figura 4.23, Anexo 3.
8. Se concluye de la figura 4.42 que al encontrar el peso adecuado del Molino SAG en función al nivel de llenado Optimo (JC), nos permitirá maximizar el throughput al molino SAG.

RECOMENDACIONES

1. Cuando se tiene ingreso de mineral grueso en ambas líneas, se recomienda trabajar con los 02 o 03 chancadores de Pebbles ya que de todas maneras ganaremos tonelaje procesado seco a flotación.
2. Cuando tenemos materiales grueso y competente en ambas líneas y trabajamos solo con un Pebbles, perdemos carga neta a flotación y no aprovechamos la capacidad del Molino de Bolas, podría haber excepciones en caso la Ruma de Pebbles este muy bajo, podemos evaluar meter equipo para abastecer a las chancadoras.
3. Trabajar con % de sólidos altos en el molino SAG (alrededor de 75 - 80%) con el fin de generar una mejor molienda y entregar T80 adecuado a la molienda secundaria.
4. Cuidar y mantener la potencia y el Peso en los molinos de bolas, evitando la descarga constante de cheeps y bolas producto de la sobrecarga del molino.

5. Realizar muestreos constantes en la clasificación de hidrociclones a fin de evitar acordonamientos de ciclones principalmente cuando se trabaja con Tonelajes altos y 3 chancadoras de Pebbles.
6. Se recomienda realizar muestreos en la descarga de los molinos de Bolas para garantizar un grado de Reducción Optimo de la Molienda secundaria principalmente cuando hay derivación de pebbles, mantener un porcentaje de solidos entre 78 a 82%.
7. Ajustar constantemente el desgaste de las chancadoras de Pebbles a fin de no bajar en porcentaje de finos -1/2 pulgada que debería estar entre 60 a 77% de finos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Austin, Leonard G. y Concha, Fernando A. (1994). Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación. CYTED.
- César A. Garrido Q. (2005). Control Predictivo con Restricciones para una Planta de Molienda SAG.
- Eli E. Aguilar T. (2017). Tesis Optimización de molinos Semi – Autógenos
- JKTechPtyLtd (2015). Curso de Simulación y Optimización de Circuitos de Molienda y Chancado. Lima.
- Jones, S. Y Fresko, M. (2010). Autogenous and Semiautogenous mills. International Conference on Autogenous Grinding, Semiautogenous Grinding and High-Pressure Grinding Roll Technology (SAG 2011), 25-28 de Septiembre, Vancouver, BC, pp. 5-7.
- Magne, L. Y Valdelamar, W. (1999). Molienda Semiautógena: Operación, Mantenimiento y Control. Centro Tecnológico de Molienda SAG y Sistemas Eléctricos, pp. 2-27.
- Manual de Operaciones, filosofía de Operaciones Minera las Bambas.
- Manuel A. Silva B. (2013). Variables operacionales y su influencia en la operación, pro-optimización del consumo energético en la molienda SAG.

- M. S. Powell. (2001). DEM Modeling of Liner and Lifter Wear in Grinding
- Menacho, Jorge. (1988). Diseño y Optimización de Procesos de Conminución, Perú.
- Metso Process Technology. (2014). Course Grinding – Circuits. Mills Proceedings SAG 2001 Conference.
- Moly-Cop. (2016). Curso de Molienda de Minerales con Aplicaciones en Ambiente Molycop Tools. Lima.
- Morrell, S. (2004). Predicting the Specific Energy of Autogenous and Semi-Autogenous Mills from Small Diameter Drill Core Samples. Minerals Engineering, Vol 17.
- Rogelio R. Rojas R. (2019). Tesis Incremento de throughput en la etapa de molienda SAG, para la optimización de las variables de la función selección y fractura, en la Compañía Minera Antamina S.A.
- Roque S. Rene E. (2013). Tesis Filosofía de control para molienda SAG en Planta de molienda de Tintaya – Antapaccay y Diseño de estrategia de control utilizando Sistema de control distribuido.
- Sistema experto PXP, FLSmith 2019, Filosofía de control.

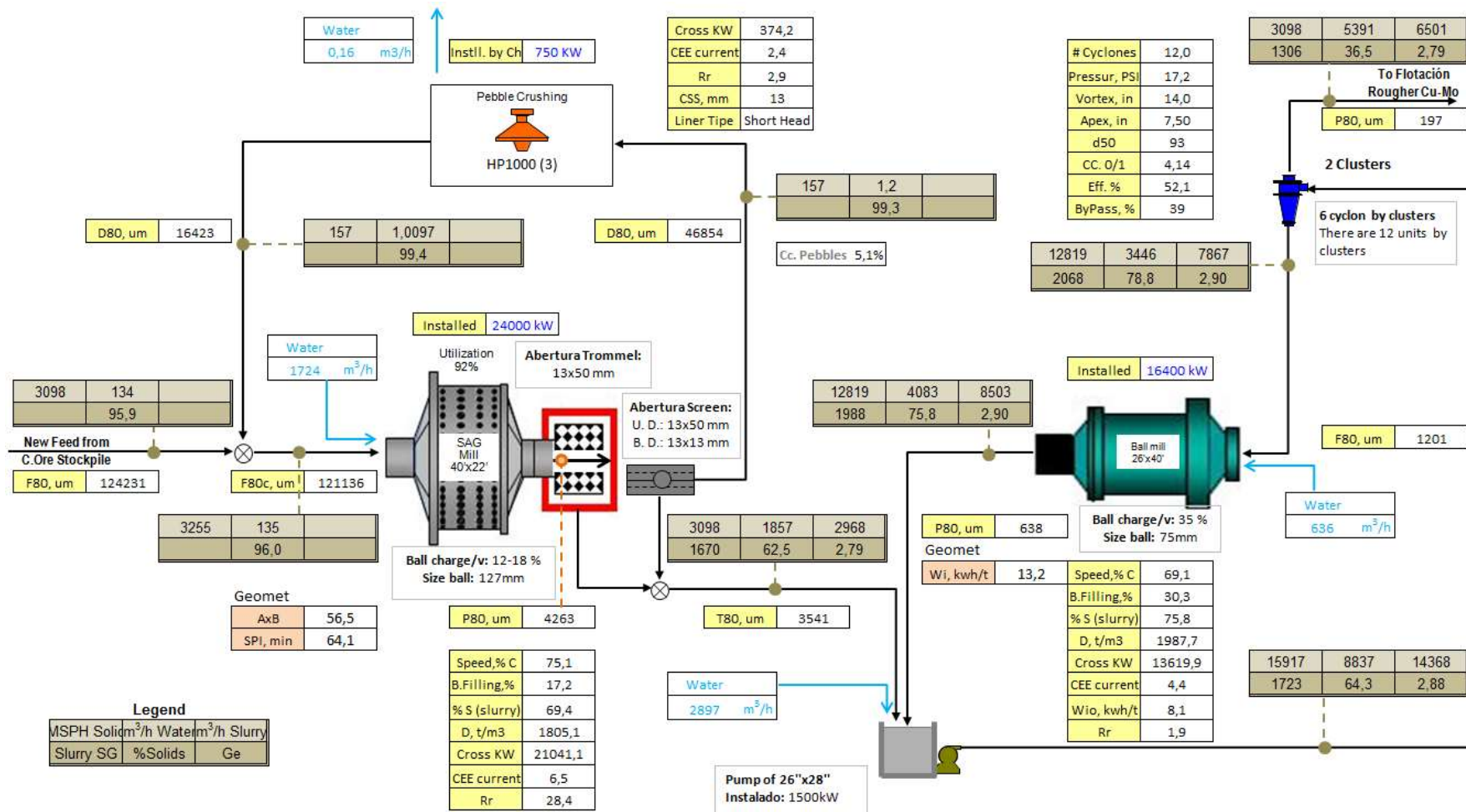
ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia

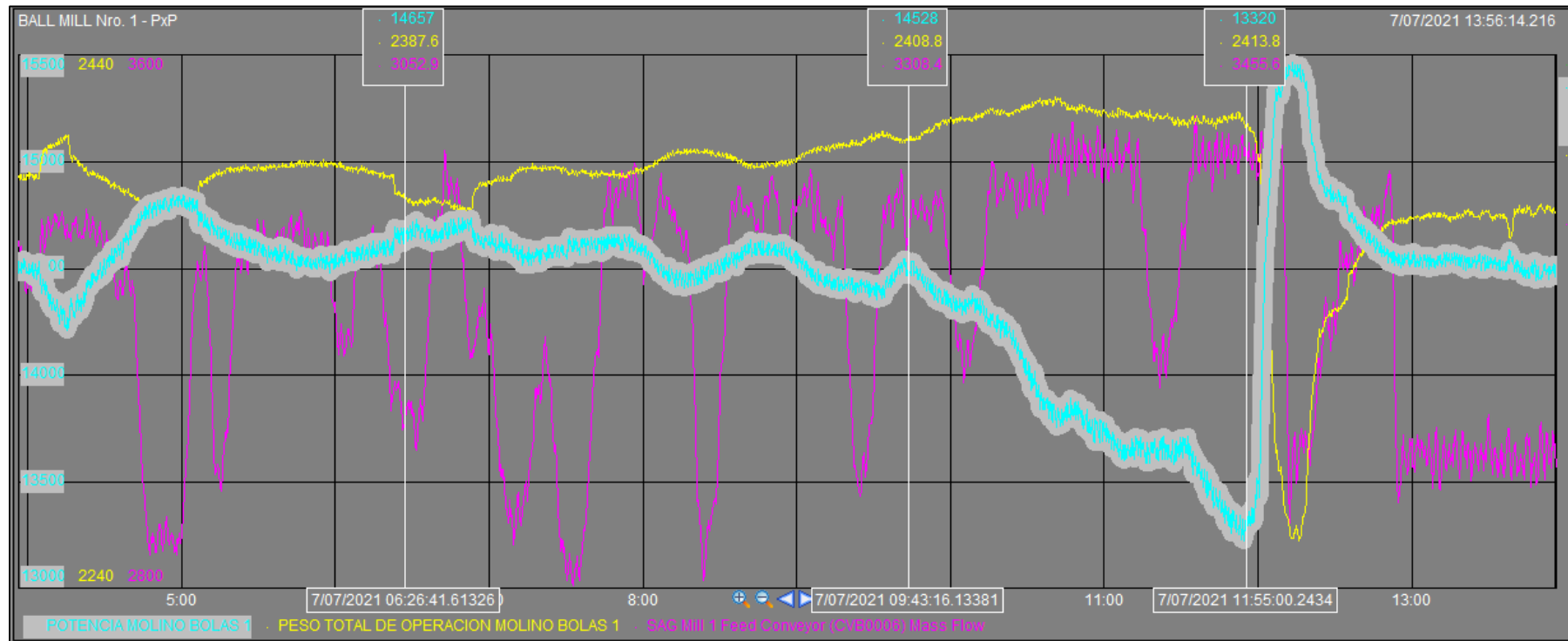
TITULO: OPTIMIZACIÓN DEL THROUGHPUT EN MOLIENDA SAG MEDIANTE ESTRATEGIAS DE MANEJO OPERACIONAL CON EL CIRCUITO DE PEBBLES

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO METODOLOGICO
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Como Mejorar el Throughput en Molienda SAG, Cuando tenemos como Alimentación Material grueso y Competente?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>1) ¿Como maximizar el Throughput en Molienda SAG, Empleando el mismo Pebbles generado?</p> <p>2) ¿Cómo Mantener la operación y estar dentro de los KPIs establecidos sin afectar la potencia en ambos Molinos SAG y Bolas sin generar Sobrecargas o arenamientos Aguas abajo?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Optimización del throughput en molienda SAG mediante estrategias de manejo operacional con el circuito de pebbles.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1.Optimizar el Thoughtput a Molienda SAG empleando pebbles chancado cuando se tenga material competente y porcentaje de finos bajo en la alimentación fresca.</p> <p>2.Aliviar la potencia en el SAG empleando pebbles chancado con un setting de 13 mm.</p> <p>3.Generar estabilidad en el circuito de molienda evitando variaciones de flujo de pulpa aguas abajo Controlando el circuito con el PXP de FLSmidth adaptando rangos operacionales a fin de maximizar el Thoughtput en Molienda.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>¿Se podrá optimizar el Throughput en Molienda SAG mediante Estrategias de Manejo Operacional con el circuito de Pebbles?</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</p> <p>1. ¿Encontrar el JC y Peso adecuado del molino SAG Generara mejor Moliendabilidad y produciremos menor cantidad de pebbles?</p> <p>2. ¿El empleo de Pebbles Chancado ayudará a reducir la potencia critica del Molino SAG?</p> <p>3. ¿La implementación de un mejor control en pebbles mejorara la estabilidad del Circuito de Molienda?</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE: Y</p> <p>Y1: Optimización del Thoughtput en Molienda SAG.</p> <p>VARIABLE INDEPENDIENTE: X</p> <p>X1: Estrategias de manejo Operacional con el circuito de Pebbles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Peso Operativo de trabajo del Molino SAG • Consumo de Potencia del Molino SAG. • Consumo de energía Especifica del Molino CEE. • Competencia y Granulometría del Mineral Fresco • Nivel de llenado del Molino (Jc) • Nivel de llenado de Bolas (Jb) • Producto chancado del Circuito de Pebbles. • Potencia del Molino de Bolas. 	<p>Tipo de Investigación Básica, Aplicada, Tecnológica</p> <p>Nivel de Investigación Investigación Correlacional</p> <p>Método de Investigación: Experimental Cuantitativa</p> <p>Técnica: Evaluación de resultados de Laboratorio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de granulometría en la alimentación y el producto de las chancadoras de Pebbles. • Medición de la Potencia consumida en el Molino SAG. • Medición de Nivel de llenado Jc y nivel de billas Jb del Molino SAG

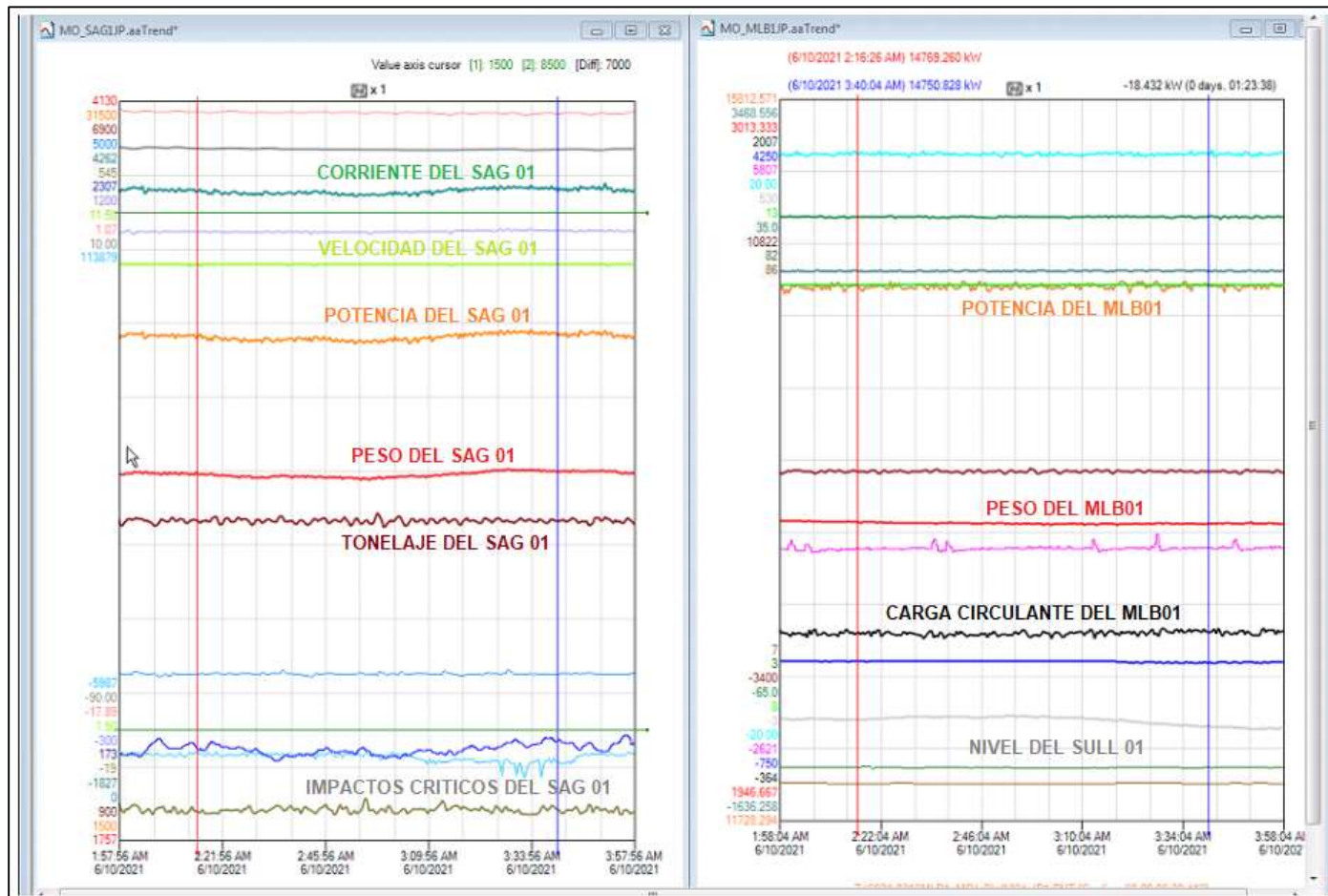
ANEXO 2. Balance metalúrgico



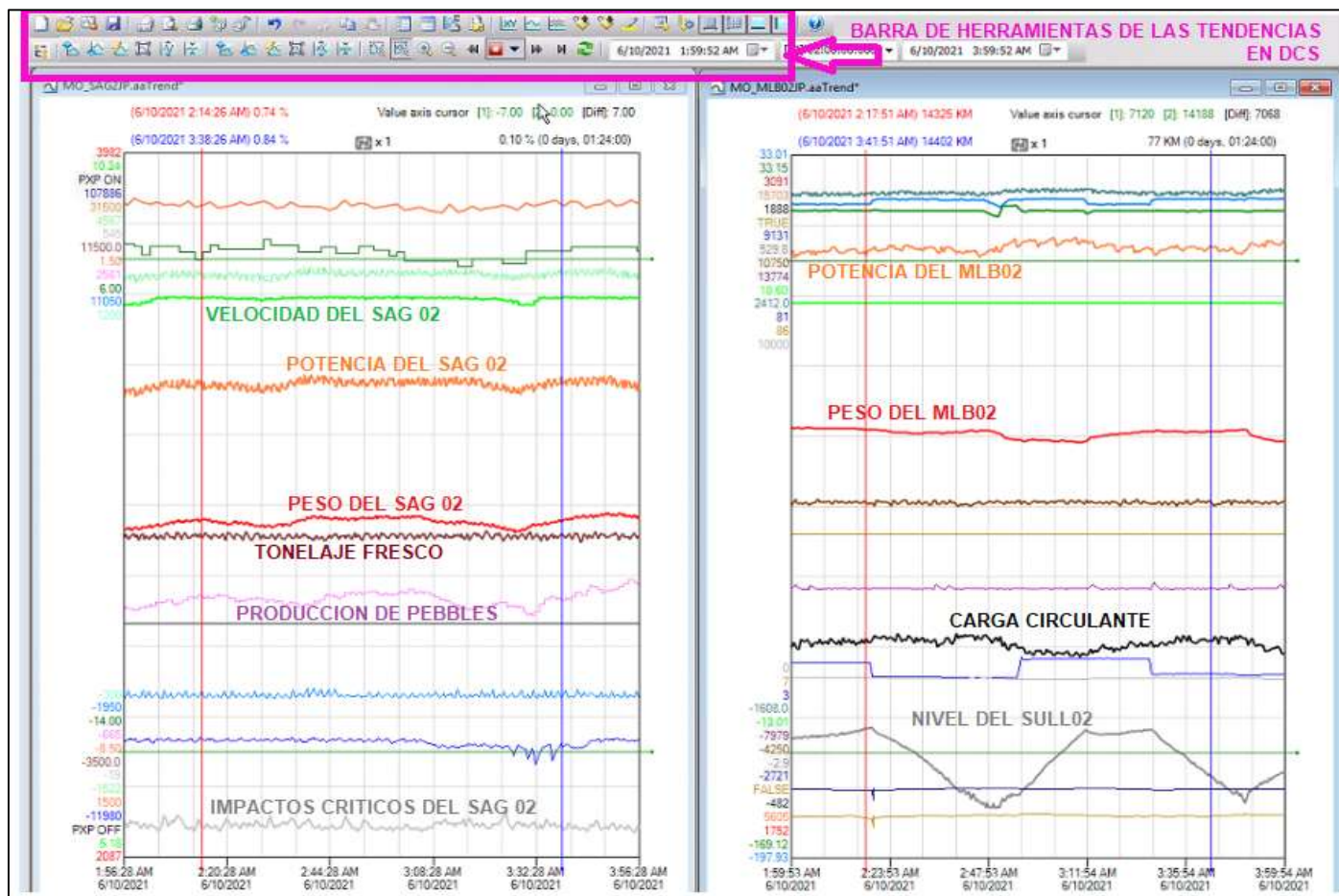
ANEXO 3. Impacto de la Potencia y peso en una Sobrecarga de Molienda Secundaria



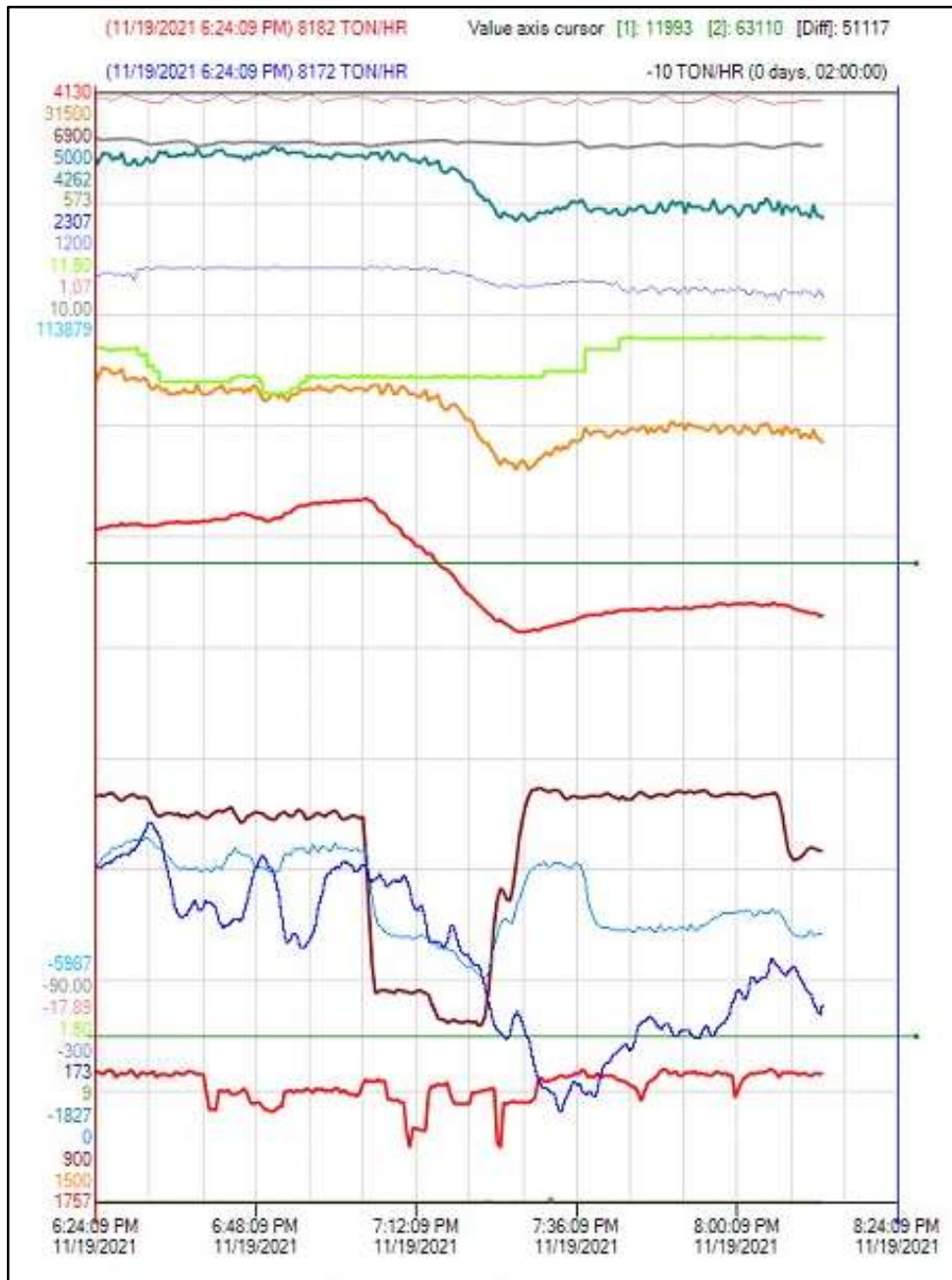
ANEXO 4. Tendencia Operativa de DCS para el Molino SAG 01 y Molino de Bolas 01



ANEXO 5. Tendencia Operativa de DCS para el Molino SAG 02 y Molino de Bolas 02



ANEXO 6. Tendencia Operativa Optima del DCS para el Molino SAG



ANEXO 7. Detector de metales y By Pass para las 3 chancadoras de pebbles

